



Universidad Nacional Autónoma de México



Posgrado en Geografía

***PROCESOS DE INUNDACIÓN EN EL SECTOR DE MÉDANOS LONGITUDINALES
DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA,
SU RELACIÓN CON VEGETACIÓN, SUELO, AGUA, y CLIMA.
OPCIONES DE DESARROLLO***

Doctorado en Geografía

**Ingeniera Agrónoma, Magister Scientiae en Ciencias del Suelo,
Margarita María Alconada Magliano**

**Director
Dr José Joel Carrillo Rivera**

2008

AGRADECIMIENTOS

A **México**, a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Del *Instituto de Geografía*, a su gente, por sus enseñanzas, amabilidad y calidez, y especialmente a *Oralia Oropeza* por su generosa amistad.

A *María Engracia Hernández* por su valiosa guía y ayuda en temas de su especialidad; y *Laura Maderey* por permitir el desarrollo de este trabajo en la Argentina.

A *José Joel Carrillo Rivera*, por su apoyo y generosa colaboración en el desarrollo de esta tesis, y por haberme ayudado a comprender más claramente la necesidad del trabajo interdisciplinario al intervenir en el paisaje, y la forma en que esto es posible.

Del *Instituto de Geofísica* a *Guillermo Hernández García*, por su valiosa ayuda y enseñanzas en temas de su especialidad, y su infinita amabilidad.

Al *pueblo mexicano*, agradezco y aprecio la oportunidad que tuve de compartir y aprender, con y de Uds, los mexicanos y mexicanas, que me acompañaron en mi andar cotidiano, que trasciende lo meramente académico, realizando y haciendo efectivo, el mensaje esperanzador que señala el escritor mexicano Carlos Fuente, en su libro "*El Espejo enterrado*", al resaltar como necesaria "**...la búsqueda de la continuidad cultural que pueda informar y trascender la desunión económica y la fragmentación política del mundo hispánico....**".

A **Cuba**, en la persona de Rainero Fagundo por su colaboración en temas de su especialidad.

A la Argentina

Especialmente, a *Juan Carlos Gómez*, Co-tutor de esta tesis, por su apoyo y guía en el procesamiento de imágenes satelitales; *Raúl Rosa*, por su guía en todos los aspectos económico-productivos de la región de estudio; *Adriana Bussoni*, por su colaboración también en temas económicos y productivos; y a *Marisol Cuellas* por su colaboración en el procesamiento de información climática.

También agradezco **a todas las personas** que me ayudaron de una u otra manera en el desarrollo de esta tesis, en tareas de campo, aportando información y material disponible, sin cuya ayuda hubiera sido imposible cumplir con todo lo propuesto en esta tesis (se detalla en punto 3.4.1, sobre recopilación de la información preexistente). Aquí reitero sus nombres: *José Moravito, Nicolás Martinis, Aldo Morsucci, Jorge Mugni, Gerardo Consolanni, Enrique Leguizamón, Juan Carlos Gramicci, Roberto Landa, Álvaro Pereiro, Juan Carlos Cristo, Rubén Álvarez, Germán González, Juan Carlos Font, Luis A. Petit, Gregorio García, Jorge Gari, Jorge Kimsa, Miriam Presutti, Paula Hurtado, Jorge Giménez, Martín Hurtado, Nauris Dangaus, Nilda González, Eduardo Leyes, Guillermo Baldeyo, Orlando Maiola, Ángel Menéndez, Néstor Bayón, Mariana Garbi, Picolini, Juan Arbelbide, Miguel Herrero, Alberto Pacheco, Marcelo Boccanera, Ezequiel Real, J.Sienra y Miguel Planas.*

Asimismo, agradezco a las **Instituciones Nacionales y Provinciales** que facilitaron información y colaboraron para el desarrollo de esta tesis.

De la *Universidad Nacional de La Plata*, al CISAUA (Centro de Investigaciones de Suelos y Agua de Uso Agropecuario, convenio *Ministerio Asuntos Agrarios*, provincia de Buenos Aires - UNLP) y a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Al *Instituto Nacional del Agua de Mendoza*, INA.

A la *Comisión Nacional de Actividades Espaciales* (CONAE, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, de la República Argentina).

Al *Centro de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Argentina*

Al *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, Agencias de Extensión INTA Pehuajó y Trenque Lauquen; provincia de Buenos Aires.

Municipalidad de Trenque Lauquen, y *Cooperativa Municipal* de 9 de Julio, Buenos Aires.

Departamento de Planes Hidrológicos, Autoridad del Agua, Ministerio de Infraestructura, de la Provincia de Buenos Aires.

Dedico esta tesis

A mis hijas Sofía, Elisa y Luciana,
por quienes conservo el legado de vida de mis padres, y me renuevan los deseos y el sentido
de la vida;

a mis amigas y amigos,
que me acompañan y me dan alegría,
a Cecilia, Mercedes y Gladys, que aún están conmigo;

a mis hermanas, hermanos, cuñadas, primas y primos
al recuerdo de mi hermana Moni, y de mi cuñado Ramiro,
por las historias compartidas;

a mis sobrinas y sobrinos
que refuerzan el valor de la familia y la esperanza en el futuro;

a mi abuela Mamina, por su cálido recuerdo;

y al recuerdo de mis padres
quienes me guían en la esperanza de siempre encontrar
la paz que otorga reconocer la bondad, lealtad, dignidad, justicia,
y amor en las personas.

INDICE

	Página	
RESUMEN	1	6
CAPÍTULO 1		
INTRODUCCIÓN		
1.1. Características generales del área de estudio	7	9
1.2. Estado de avance de estudios previos	9	11
1.3. Planteamiento del problema	11	11
1.4. Hipótesis	11	12
1.5. Objetivos	12	12
1.5.1. Objetivo general		
1.5.2. Objetivos parciales		
1.6. Justificación del proyecto	13	13
CAPITULO 2		
ANTECEDENTES		
2.1. Descripción del medio físico, zona bonaerense noroeste	14	82
2.1.1. Localización del área de estudio	14	18
2.1.2. Características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de la región	18	41
2.1.2.1. Geomorfología		
2.1.2.2. Referente geológico y estratigráfico regional (ANEXO A-1)		
2.1.2.3. Hidrogeología		
2.1.3. Suelo	41	60
2.1.3.1. Descripción edáfica del área de estudio		
2.1.3.2. Relación relieve - suelo		
2.1.3.3. Relación relieve - suelo - vegetación natural		
2.1.3.4. Degradación edáfica e hídrica, y su recuperación		
2.1.4. Vegetación (ANEXO A- 2)	60	61
2.1.5. Clima de la región noroeste bonaerense	61	69
2.1.5.1. Caracterización bio-climática		
2.1.5.2. Clima edáfico		
2.1.5.3. Respuesta edáfica: cantidad de agua para los cultivos		
2.1.5.4. Cambio climático y variabilidad del clima (ANEXO A-3)		
2.1.6. Ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos	69	74
2.1.6.1. Introducción, referente histórica		
2.1.6.2. Origen de las lagunas		
2.1.6.3. Tipología de lagunas		
2.1.6.4. Características físico-química del agua		
2.1.6.5. Características bióticas, y su relación con la físico-química del agua		
2.1.6.6. Potencialidad productiva y económica de las lagunas		
2.1.7. Características socio-económicas	74	82
2.1.7.1. Principales actividades productivas imperantes en la región		
2.1.7.2. Estructura y organización de empresas agropecuarias		
2.1.7.3. Implicaciones socioeconómicas de inundaciones y sistemas productivos		
2.1.7.4. Potencialidades y limitaciones al desarrollo regional		
2.2. Las inundaciones en la región pampeana	82	92
2.3. Manejo de vegetación y suelo: influencia con el agua subterránea	92	107
2.3.1. En la bibliografía internacional	92	95
2.3.1.1. Prácticas de manejo y su efecto sobre zonas de recarga o descarga de agua subterránea		
2.3.1.2. Efecto de prácticas de manejo sobre el ciclo hidrológico, agua superficial		
2.3.1.3. Bio-drenaje: principios, experiencias, y recomendaciones		

2.3.2. Cubierta vegetal, recomendaciones y experiencias para el área de estudios, y otras regiones semi-áridas y sub-húmedas de Argentina	95	107
2.3.2.1. Manejo de la cobertura vegetal herbácea (pastizal natural, pastura)		
2.3.2.2. Plantación forestal y cultivos que toman directamente agua freática		
2.4. Ecosistemas y agua subterránea	108	116
2.4.1. Principios básicos del uso de los sistemas de flujo en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico	108	110
2.4.2. Fundamentos de sistemas de flujo y el funcionamiento hidrogeológico	110	111
2.4.3. Relación entre ecosistemas y agua subterránea	111	113
2.4.4. El paisaje como unidad de estudio de la geografía física. Componentes del Paisaje	113	115
2.4.5. Integración de elementos del paisaje	115	116

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Descripción del área de trabajo, referente general	117	118
3.2. Estudio del clima	118	119
3.2.1 Obtención de información climática	118	119
3.2.2 Procesamiento de la precipitación	119	119
3.3. Procesamiento de imágenes satelitales	119	122
3.3.1 Obtención de Imágenes satelitales	120	120
3.3.2 Georreferenciación, y combinación de bandas a fin de resaltar elementos del terreno: algoritmos	120	121
3.3.3 Análisis de cartografía planialtimétrica y fotografías aéreas	121	122
3.3.4 Análisis multi-temporal	122	122
3.4. Procedimientos de estudios de suelo, agua, vegetación en campo	122	150
3.4.1. Recopilación de la información preexistente	122	125
3.4.2. Estudios en el agua superficial y subterránea	125	149
3.4.2.1. Actividades de campo y laboratorio		
3.4.2.2. Modelo hidrogeoquímico		
3.4.2.3 Modelo de análisis isotópico $\delta^{18}\text{O}$ y δD		
3.4.2.4. Modelación matemática del flujo subterráneo		
3.4.3. Estudio del suelo y vegetación	149	150
3.4.3.1. Estudio del suelo		
3.4.3.2. Estudio de la vegetación		
3.5. Análisis socio-económico	151	158
3.6. Criterios de interpretación e integración de variables	158	159

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evolución de componentes del Clima (ANEXO B)	160	162
4.1.1 Provincias entre Buenos Aires y Cordillera de los Andes	162	179
4.1.1.1 Mendoza		
4.1.1.2 San Luis		
4.1.1.3 La Pampa		
4.1.1.4 Córdoba		
4.1.1.5 Santa Fe		
4.1.2 Provincia de Buenos Aires, partidos ubicados aguas arriba del área de estudio.	179	186
4.1.2.1 General Villegas		
4.1.2.2 Lincoln		
4.1.2.3 Leandro N. Alem		
4.1.2.4 Carlos tejedor, Henderson, Salliqueló		
4.1.2.5 9 de Julio		

4.1.3 Provincia de Buenos Aires, sitio de estudio	186	202
4.1.3.1 Pehuajó		
4.1.3.2 Trenque Lauquen		
4.1.4 Argentina, el clima y sus cambios	202	204
RESUMEN del Clima	204	208
CONCLUSIONES del Clima	208	209
4.2. Procesamiento de imágenes (ANEXO C)	209	247
4.2.1 Georreferenciación, y combinación de bandas a fin de resaltar elementos del terreno: algoritmos	209	214
4.2.2 Análisis de cartografía planialtimétrica y fotografías aéreas	214	219
4.2.3 Análisis multi-temporal	219	247
4.2.3.1 Imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat7 de 1997 a 2007		
4.2.3.2 Imágenes Satelitales Históricas Landsat MSS		
4.2.3.3 Comparación de Imágenes Satelitales históricas Landsat MSS de 1980 a 1984, con Imágenes satelitales Landsat 5 y 7 de 1997 a 2007		
RESUMEN del Procesamiento de Imágenes	247	250
CONCLUSIONES del Procesamiento de Imágenes	250	251
4.3. Suelos y vegetación asociadas a zonas hidrogeológicas	251	274
RESUMEN sobre Suelo-Vegetación	274	274
CONCLUSIONES sobre Suelo-Vegetación	274	275
4.4. Caracterización del agua superficial y subterránea (ANEXO D)	276	326
4.4.1 Modelación hidrogeoquímica	276	312
RESUMEN sobre la Modelación hidrogeoquímica	312	317
CONCLUSIONES sobre la Modelación hidrogeoquímica	317	318
4.4.2. Modelación de flujo de agua subterránea MODFLOW	318	326
4.4.2.1. Calibración del modelo MODFLOW		
4.4.2.2. Análisis de posibles alternativas de funcionamiento de la inundación		
CONCLUSIONES, Modelación del Flujo de Agua Subterránea con MODFLOW	326	327
CONCLUSIÓN GENERAL del punto 4.4	327	327
4.5. Identificación de zonas de descarga y recarga	327	329
4.6. Análisis socio-económico de actividades productivas	329	347
4.6.1 Recomendaciones para la región basadas principalmente en el análisis socio-económico y ambiental presentado en antecedentes	330	332
4.6.2 Resultado económico de la implementación de forestación, sistemas silvopastoreo, en comparación con esquemas productivos tradicionales de la región noroeste	332	336
4.6.3 Sobre el desarrollo de la acuicultura en la región	336	343
RESUMEN sobre las Actividades Productivas	343	345
CONCLUSIONES sobre las Actividades Productivas	345	347
4.7. Interpretación e integración de variables	347	358
4.7.1 Sistemas de flujo identificados	347	349
4.7.2 Relación vegetación-suelo-agua subterránea como un criterio clasificador del paisaje	349	357
4.7.2.1 Sobre las relaciones entre elementos y procesos en el paisaje		
4.7.2.2 Sobre las relaciones suelo-vegetación-relieve-sistema de flujo		
4.7.2.3 Elección de prácticas de manejo y actividades productivas a partir de la definición de los sistemas de flujo de agua		
4.7.3 Alternativas productivas técnica- económica y ambientalmente factibles para la sociedad del noroeste de la provincia de Buenos Aires.	357	358
CONCLUSIONES	359	365
REFERENCIAS	366	380

TABLAS

- Tabla 2.1** Espesor, formación, edad, litología, y comportamiento hidrogeológico del material geológico.
- Tabla 2.2.** Valores de conductividad hidráulica y almacenamiento de las formaciones principales.
- Tabla 2.3** Unidades litoestratigráficas, unidades pedoestratigráficas, y unidades geomórficas.
- Tabla 2.4** Suelos del área de estudio agrupados en función de su susceptibilidad a la erosión, índice de productividad (IP) INTA y promedio.
- Tabla 2.5.** Aptitud física de las unidades taxonómica de suelo para diferentes usos: cultivos agrícolas, pasturas y forestación.
- Tabla 2.6** Distribución de suelos en las zonas agroecológicas 3, 4 y 5.
- Tabla 2.7** Especies que actúan como indicadoras de salinidad.
- Tabla 2.8** Asociación principal entre suelo, comunidad vegetal, y posición en el relieve.
- Tabla 2.9** Datos climáticos de Pehuajó año 2002.
- Tabla 2.10** Tipo de suelo, rendimiento en grano de los cultivos agrícolas y pasturas para el N-O.
- Tabla 2.11** Evolución de precio de la tierra, existencia ganadera, y rendimiento de cultivos.
- Tabla 2.12** Rendimiento medio anual ($m^3/ha/año$) de especies según posición en el relieve y tipo de suelo y agua.
- Tabla 2.13** Especies herbáceas aptas para sembrar en la región de estudio.
- Tabla 2.14** Tolerancia de diversa vegetación a diferentes condiciones de salinidad y pH.
- Tabla 2.15** Cálculo del rendimiento relativo esperado para cultivos.
- Tabla 2.16** Rendimiento para algunos cultivos con suelo drenado y como afectaría el mismo (%) según el tiempo en que el suelo se mantenga anegado.
- Tabla 3.1** Clasificación del tipo año por su anomalía en la precipitación.
- Tabla 3.2** Sitios de muestreo de puntos de agua y su localización.
- Tabla 3.3** Extracción de Tabla 2.5, Aptitud de uso del suelo en la región de estudio.
- Tabla 3.4** Referente técnico y requerimiento edafo-climático de las especies.
- Tabla 3.5** Supuestos de crecimiento y rendimiento de especies vegetales propuestas.
- Tabla 3.6** Coeficientes y precios de plantación.
- Tabla 3.7** Principales coeficientes ganaderos.
- Tabla 3.8** Costo de preparación de sitio para plantación de especies forestales.
- Tabla 3.9** Cálculo de precios de madera.
- Tabla 4.1** Clasificación de los años a partir del cálculo de anomalías de la precipitación de San Rafael, Mendoza en el período 1927 a 2006.
- Tabla 4.2** Promedio de precipitación entre 1968 – 1981, y 1994 - 2005, Mercedes, San Luis
- Tabla 4.3** Clasificación según las anomalías, entre los años 1911 a 2006 en Anguil, La Pampa.
- Tabla 4.4** Clasificación según las anomalías, entre los años 1903 a 2006 en Manfredi, Córdoba.
- Tabla 4.5** Balances hídricos para diferentes períodos en Laboulaye y Rufino, y efectos en la profundidad de la superficie freática.
- Tabla 4.6** Clasificación según las anomalías, entre los años 1975 y 2006, en Rufino, Santa Fe.
- Tabla 4.7** Análisis comparativos de la precipitación de diferentes períodos en Rufino, Santa Fe.
- Tabla 4.8** Precipitaciones promedio para diferentes períodos y años por estaciones.
- Tabla 4.9** Evapotranspiración promedio para diferentes períodos por estación y balance.
- Tabla 4.10** Clasificación según anomalías, entre los años 1911 a 2006 en Villegas, Bs Aires.
- Tabla 4.11** Precipitación media anual para el periodo 1969-1996, Lincoln, Buenos Aires.
- Tabla 4.12** Precipitación mensual y media anual entre los años 2000-2004, Lincoln, Bs Aires.
- Tabla 4.13** Situación promedio de evapotranspiración potencial y real mensual, Lincoln, Bs As.
- Tabla 4.14** Promedio de los meses y años del periodo 1991-2004, en Alem, Bs Aires.
- Tabla 4.15** Precipitaciones medias anuales de los partidos de Lincoln y Alem, entre 2000-2004.
- Tabla 4.16** Precipitaciones totales y medias ente 1997 y 2004 en 9 de Julio, Buenos Aires.
- Tabla 4.17** Clasificación de la precipitación entre 1927 y 2007, por Anomalías, Pehuajó, Bs.As.
- Tabla 4.18** Precipitación media anual promedio por décadas en Pehuajó.
- Tabla 4.19** Distribución por trimestres de las precipitaciones en los años muy secos.

- Tabla 4.20** Distribución por trimestres de las precipitaciones en Pehuajó en años muy lluviosos.
- Tabla 4.21** Balance hídrico de Pehuajó para los años 1979, 1996, 1997, y 2001
- Tabla 4.22** Información agroclimática para Pehuajó (1959-95).
- Tabla 4.23** Clasificación de la precipitación entre 1911-2006, por Anomalías, T.Lauquen Bs.As.
- Tabla 4.24** Valores promedio de la precipitación por décadas en Trenque Lauquen.
- Tabla 4.25** Precipitación mensual de los años muy secos, entre 1911 y 2006, Trenque Lauquen.
- Tabla 4.26** Precipitaciones mensuales de los años muy húmedos o muy lluviosos, entre 1911 y 2006, Trenque Lauquen.
- Tabla 4.27** Precipitación por trimestres en los años muy secos, Trenque Lauquen.
- Tabla 4.28** Precipitación por trimestres en los años muy lluviosos, Trenque Lauquen.
- Tabla 4.29** Balance hídrico de los años 1965,1974, 1979, y 2001 en Trenque Lauquen.
- Tabla 4.30** Precipitaciones anuales entre 1997-2004 de partidos del noroeste bonaerense.
- Tabla 4.31** Temperatura mínima media anual y cantidad de heladas anuales en localidades de Córdoba y de San Luis.
- Tabla 4.32** Conductividad eléctrica, pH en pasta, RAS (Relación de adsorción suelo) en sitios afectados y no afectados, indicados en Figura 4.31 y 4.33
- Tabla 4.33** Resumen comparativo de los sitios analizados en relación al clima.
- Tabla 4.34** Precipitación media anual en partidos del noroeste bonaerense. .
- Tabla 4.35** Superficies de lagunas e inter-médanos en secuencia de imágenes satelitales entre 1980 y 2007.
- Tabla 4.36** Variables *físico-químicas* en suelos, vegetación y profundidad de superficie freática, en sitio de muestreo en 9 de Julio, Carlos Casares y Pehuajó.
- Tabla 4.37** Unidades cartográficas, capacidad de uso, subgrupos, Serie de suelo y posición topográfica, en ambientes de Pehuajó y Trenque Lauquen.
- Tabla 4.38** Profundidad de superficie freática en freáticos del Est. El Tostado, en Pehuajó.
- Tabla 4.39** Variables *físico-químicas* en suelos, vegetación y profundidad de superficie freática en sitios de muestreo de Trenque Lauquen.
- Tabla 4.40** Variables *físico-químicas* en suelos, vegetación y profundidad de superficie freática en sitio de muestreo en Rivadavia, Guamini, Carhué, 9 de Julio, y Junín.
- Tabla 4.41** Determinaciones de campo y laboratorio, STD, CE, Eh, pH en diferentes manifestaciones y sitios de muestreo.
- Tabla 4.42a** Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 1. Tipo predominante SO_4^{2-} - Ca^{+2} con tendencia a Cl^- y Ca^{+2} .
- Tabla 4.42b** Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 2. Tipo predominante: HCO_3 -Ca-Na.
- Tabla 4.42c** Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 3. Tipo predominante: HCO_3 -Na.
- Tabla 4.42d** Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 4. Tipo predominante: $\text{Cl} > \text{HCO}_3$ -Na.
- Tabla 4.42e** Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 5. Tipo predominante: $\text{Cl} > \text{SO}_4$ -Na.
- Tabla 4.43** Esquema general de evolución química del agua estudiada para el N-O bonaerense.
- Tabla 4.44** Composición mineralógica propuesta para la modelación hidrogeoquímica basada en la litología del área.
- Tabla 4.45** Composición mineralógica de los depósitos superficiales en la provincia de Bs Aires.
- Tabla 4.46** Principales procesos geoquímicos que explican el origen de la composición química del agua estudiada.
- Tabla 4.47a** Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en Mendoza y San Luis, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un *modelo de balance de masas*).
- Tabla 4.47b** Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en localidades de Trenque Lauquen, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un *modelo de balance de masas*).

- Tabla 4.47c** Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua de la localidad de Pehuajó, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un *modelo de balance de masas*).
- Tabla 4.47d** Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en las localidades de 9 de Julio y Carlos Casares, resultado del proceso de interacción agua material acuífero (con un *modelo de balance de masas*).
- Tabla 4.47e** Procesos geoquímicos que explican la composición química de lagunas en localidades vecinas a Trenque Lauquen, resultado de interacción agua-material acuífero (aplicando un *modelo de balance de masas*).
- Tabla 4.47f** Procesos geoquímicos que explican la composición química de lagunas en localidades de Trenque Lauquen y Pehuajó, resultado del proceso de interacción agua material acuífero (aplicando un *modelo de mezcla de agua*).
- Tabla 4.48** Índices de saturación (IS) del agua respecto a diferentes minerales.
- Tabla 4.49** Matriz de correlación de iones mayores y otros parámetros geoquímicos.
- Tabla 4.50a.** Variación temporal físico química de las lagunas Gómez y Tunas.
- Tabla 4.50b** Variación temporal físico química de laguna Cochicó.
- Tabla 4.51** Indicadores de anomalía geoquímica a partir del valor medio del componente mayoritario y minoritario del agua de las localidades estudiadas.
- Tabla 4.52** Comparación de concentración típica de componentes minoritarios en roca y agua de mar con datos de agua del área de estudio.
- Tabla 4.53** Relaciones de metales de tierras raras en diferente manifestación.
- Tabla 4.54a** Composición isotópica de agua de pozos de la Provincia de Mendoza.
- Tabla 4.54b** Composición isotópica de pozos restantes muestreados.
- Tabla 4.54c** Composición isotópica de agua superficial y subterránea somera (diques, ríos, freáticos) del área de estudio.
- Tabla 4.54d** Composición isotópica del agua de lagunas en el área de estudio.
- Tabla 4.55** Márgenes Brutos de Cultivos Agrícolas.
- Tabla 4.56** Ejemplo de margen bruto en cultivo de trigo para la región del noroeste
- Tabla 4.57** Ejemplo de margen bruto en ganadería de invernada para la región del noroeste.
- Tabla 4.58** Valor Actual Neto y Renta Anual en diferentes situaciones agrícola-ganaderas.
- Tabla 4.59** Valor actual neto de cinco especies forestales en silvopastoreo.
- Tabla 4.60** Renta anual del silvopastoreo, forestación, ganadería, y tiempo de corte final de árboles.
- Tabla 4.61** Calidad físico-química del agua para el cultivo del pejerrey.

FIGURAS

- Figura 2.1** Mosaico de imágenes satelitales de Buenos Aires, se indica en la región del noroeste bonaerense la Zona de Médanos longitudinales y Zona de Médanos parabólicos.
- Figura 2.2** Mapa red hidrográfica de la provincia de Buenos Aires con regiones que integran la Cuenca del Río Salado.
- Figura 2.3** Ubicación del noroeste bonaerense (Pampa Arenosa), en la Cuenca del Río Salado, provincia de Buenos Aires, y provincias vecinas hasta la Cordillera de los Andes, Argentina.
- Figura 2.4** Regiones naturales de la República Argentina, se destaca la Llanura Pampeana.
- Figura 2.5** Eco-regiones de la República Argentina, a) noroeste bonaerense, principales partidos estudiados, y b) provincias entre Cordillera de los Andes, Buenos Aires.
- Figura 2.6** Mapa morfométrico de la Argentina, y provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.7** Ambientes de la provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.8** Lagunas y ciudades principales del área de estudio.
- Figura 2.9** Perfil geotectónico de la transecta oeste bonaerense y Río de La Plata.
- Figura 2.10** Bosquejo geológico de la provincia de Buenos Aires, unidades sedimentarias sobre basamento hidrogeológico, destacándose al noroeste bonaerense.
- Figura 2.11** Evolución histórica del sistema fluvial del territorio.
- Figura 2.12** Provincias geológicas de la provincia de Buenos Aires.

- Figura 2.13** Unidades geomorfológicas de la provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.14** Cuencas tectónicas del Salado, Macachín y Laboulaye.
- Figura 2.15** Médanos de ambientes elevados en Mari-Lauquen, Trenque Lauquen.
- Figura 2.16** Médanos de ambientes más bajos, en Berutti (90m snm) y geoformas asociadas.
- Figura 2.16a** Ambiente de médano, manto, manto somero y depresión inter-medanosa.
- Figura 2.16b** Límite entre mantos y mantos someros con diferente vegetación
- Figura 2.17** Laguna de Murphy, antigua cubeta de deflación.
- Figura 2.18** Lagunas del noroeste bonaerense (adaptada de PMI, 1999).
- Figura 2.16** Detalle de Lagunas en el área de estudio Pehuajó y Trenque Lauquen.
- Figura 2.20** Unidades morfoestructurales y estructuras menores del ámbito bonaerense.
- Figura 2.21** Comarcas fisiográficas de la provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.22** Ambientes hidrológicos de la provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.23** Regiones hidrogeológicas, provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.24** Regiones hidrogeológicas entre la cordillera de los Andes y provincia de Bs Aires.
- Figura 2.25** División por partidos de la provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.26** Zonas Agroecológicas de la Cuenca del Río Salado.
- Figura 2.27** Detalle de Dominios edáficos del área.
- Figura 2.28** Mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires.
- Figura 2.29** Esquema de unidades pedoestratigráficas, suelos y unidades litoestratigráficas.
- Figura 2.30** Distribución teórica de algunos sub-grupos de suelos.
- Figura 2.31** Depresión inter-medanosa, con agua y luego de retirada el agua de inundación, con detalle del suelo seco.
- Figura 2.32** Ambiente de loma, sin salinidad, suelo *Hapludol éntico*, con pradera mesófito, no afectado por la inundación.
- Figura 2.33** Ambiente bajo, con suelo alcalino, salino, afectado por la inundación, con desarrollo de humatos sódicos y desarrollo de pradera halófito (*Distichilis sp.* y *Salicornia sp.*).
- Figura 2.34** Rasgos hidromórficos, moteados y concreciones Fe-Mn en horizonte eluvial álbico.
- Figura 2.35** Atlas bio-climático de la República Argentina.
- Figura 2.36** Mapa de precipitación media de la República Argentina.
- Figura 2.37** Temperatura media, corrientes oceánicas, y vientos de la República Argentina.
- Figura 2.38** Regímenes de temperatura y humedad edáfica de la República Argentina.
- Figura 2.39** Imagen satelital de la inundación del año 2001 respecto al 2002.
- Figura 2.40** Isohietas de dos periodos, 1941-1970, y 1971-2004.
- Figura 2.41** Curvas isofreáticas para el año 1974 y 1986.
- Figura 2.42** Canal Jaureche, en el sector que sale del complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, atraviesa la ruta nacional 5 en dirección a la ciudad de Trenque Lauquen.
- Figura 2.43** Esquema de funcionamiento del bio-drenaje.
- Figura 2.44.** Sistemas de flujo subterráneo: áreas de recarga, descarga, e indicadores ambientales asociados.
- Figura 2.45** Sistemas de flujo subterráneo básicos: *local, intermedio y regional.*
- Figura 3.1** Recorrido efectuado y analizado, entre las ciudad de Mendoza en la provincia de Mendoza, y Carlos Casares en Buenos Aires.
- Figura 3.2a** Área de estudio desde Mendoza hasta Buenos Aires, se detalla ubicación de los sitios de muestreo correspondientes a Mendoza y San Luis.
- Figura 3.2b** Ubicación de los sitios de muestreo correspondientes al noroeste bonaerense, entre Carlos Casares y Trenque Lauquen.
- Figura 3.3a** Detalle de sitios de muestreo en Trenque Lauquen.
- Figura 3.3.b.** Detalle de sitios de muestreo en Establecimiento de Berutti.
- Figura 3.4** Detalle de los sitios de muestreo en Pehuajó, y Carlos Casares.
- Figura 3.5.** Equipos para medir pH, CE, temperatura, Eh, y alcalinidad, en campo.
- Figura 3.6** Modelo de elevación, vista en planta con líneas de igual elevación de la superficie del terreno de referencia.

- Figura 3.7** Modelo en celdas, malla horizontal con unidades de 1,000 x 1,000m (total de 30,240 celdas: 168 renglones (celdas) en sentido O-E y 180 columnas (celdas) en sentido N-S)
- Figura 3.8** Ejemplo de perfiles verticales: secciones oeste-este con material de relleno de hasta 5,500m (descripción de mayor detalle a 1,200m).
- Figura 3.9** Distribución de las celdas en que se aplica la condición de frontera.
- Figura 3.10** Distribución de los valores de las variables de referencia para las unidades litológicas de interés.
- Figura 3.11** Distribución de cargas GHB (celdas en verde) a lo largo de una sección transversal oeste-este en el área de interés.
- Figura 3.12** Dirección del flujo subterráneo ascendente mostrando los vectores detectados de la velocidad, notar que el factor de exageración vertical de la sección (con respecto a la horizontal) es de 5.
- Figura 3.13** Distribución de la superficie freática inicial considerada para la modelación del flujo subterráneo y respuesta a diferentes entradas de agua para el área de estudio (1974)
- Figura 3.14** Ejemplo de planilla elaborada en programa Excel para calcular los VAN de las rotaciones de actividades agrícola-ganaderas (a), y otra donde se incorpora además las forestación y sistema silvopastoril (b).
- Figura 4.1** Clasificación de precipitaciones por criterio de anomalías, periodo 1927 y 2006, San Rafael, Mendoza (INTA Rama Caída, San Rafael).
- Figura 4.2** Balance hídrico de Mendoza para el período 1971-2000.
- Figura 4.3** Balance hídrico de Villa Mercedes, San Luis, para el período 1971-2000.
- Figura 4.3** Balance hídrico de Villa Mercedes, San Luis, para el período 1971-2000.
- Figura 4.4** Clasificación de la precipitación por anomalías, entre 1911 a 2006 en Anguil, L.P.
- Figura 4.5** Variación de las precipitaciones en dos periodos, 1911-1970 y 1971-1999.
- Figura 4.6** Balance hídrico de Anguil, La Pampa, para el período 1971-2000.
- Figura 4.7** Imagen satelital, se indica origen del Río Quinto y sitios por donde escurre hasta unirse en Bragado con el Río Salado en épocas húmedas.
- Figura 4.8** Clasificación de la precipitación por anomalías entre 1903 y 2006, Manfredi, Cba.
- Figura 4.9** Balance hídrico de Manfredi, Córdoba para el período 1971-2000 .
- Figura 4.10** Evolución de las medias móviles para 5 años en Laboulaye.
- Figura 4.11** Clasificación de la precipitación por anomalías entre 1975 y 2006, Rufino, Sta Fe.
- Figura 4.12** Clasificación de la precipitación por anomalías entre 1927 y 2006, Villegas, Bs As.
- Figura 4.13** Ejemplo de distribución de precipitaciones en el partido de Lincoln.
- Figura 4.14** Promedio de precipitaciones mensuales para el periodo 1991-2004, Alem, Bs Aires.
- Figura 4.15** Precipitaciones medias anuales entre 1911 y 1999, Carlos Tejedor, Buenos Aires.
- Figura 4.16** Precipitaciones medias anuales entre 1907 y 1999, Henderson, Buenos Aires.
- Figura 4.17** Precipitaciones medias anuales entre 1911 y 1998, Salliqueló, Buenos Aires.
- Figura 4.18** Clasificación de la precipitación por anomalías entre 1911-2006, Pehuajó, Bs Aires.
- Figura 4.19** Distribución mensual de la precipitación en años muy secos.
- Figura 4.20** Distribución de las precipitaciones de Pehuajó. en años muy secos por trimestres.
- Figura 4.21** Distribución mensual de la precipitación en años muy lluviosos en Pehuajó.
- Figura 4.23** Distribución de las precipitaciones en Pehuajó en años muy lluviosos por trimestres.
- Figura 4.23** Balances hídricos de Pehuajó para los años 1974, 1979, 1996, 1997, 2000, y 2001.
- Figura 4.24** Clasificación de la precipitación por anomalías entre 1911-2006, T. Lauquen, Bs As.
- Figura 4.25** Precipitación mensual de los años muy secos, entre 1911-2006, Trenque Lauquen.
- Figura 4.26:** Precipitaciones mensuales de años muy lluviosos, entre 1911-2006, T.Lauquen.
- Figura 4.27** Valores promedio para los trimestres T1 a T4 entre 1911 a 2006, respecto a iguales trimestres de los años muy secos, Trenque Lauquen.
- Figura 4.28** Valores promedio para los trimestres T1 a T4 entre 1911 a 2006, respecto a iguales trimestres de los años muy húmedos, Trenque Lauquen.
- Figura 4.29** Balance hídrico de años 1965 y 2001, Trenque Lauquen.
- Figura 4.30** Promedio anual de precipitaciones (puntos) y tendencias (línea) en el centro de la Argentina.

- Figura 4.31** Detalle de un sector correspondiente a Trenque Lauquen, laguna de Murphy al sur, donde se indican algunos de los sitios muestreados.
- Figura 4.32** Detalle de un sector correspondiente a Trenque Lauquen, laguna de Murphy al norte, donde se indican algunos de los sitios muestreados.
- Figura 4.33** Mosaico de fotografías aéreas 1:20.000, tomadas en abril de 1982, e imagen satelital de abril de 2002.
- Figura 4.34** Imagen satelital, mosaico de cartas topográficas, y modelo de elevación digital.
- Figura 4.35** Depresión inter-médanos con agua de escurrimiento “en manto”
- Figura 4.36** Límite entre la unidad de médanos y depresión inter-medanosa, en épocas sin excesos hídricos.
- Figura 4.37** Sector de laguna Las Salinas, en mosaico de cartas topográficas (1:50.000, IGM) con curvas de nivel equidistancia 1.25m.
- Figura 4.38** Sector de laguna Murphy en mosaico de cartas topográficas. (1:50.000, IGM) con curvas de nivel equidistancia 1.25m.
- Figura 4.39** Sector más alto en mosaico de cartas topográficas (1:50.000, IGM) con curvas de nivel equidistancia 1.25m .
- Figura 4.40** Imagen Satelital del 12 de marzo de 1997, y sectores seleccionados para su análisis; 1-laguna de Murphy, 2- Pehuajó; 3-Establecimiento El tostado, 4-Complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, y 5- Carlos Casares.
- Figura 4.41** Sector de laguna Murphy en Trenque Lauquen en IS1) e IS2) de 1997.
- Figura 4.42** Ciudad de Pehuajó y alrededores en IS1) e IS2) de 1997.
- Figura 4.43** Establecimiento El Tostado y alrededores, en Pehuajó en IS1) e IS2) de 1997.
- Figura 4.44** Sector Laguna de Murphy para cuatro fechas: IS1)-IS2) con IS3)-IS4).
- Figura 4.45** Sector de Pehuajó y alrededores para cuatro fechas: IS1)-IS2) con IS3)-IS4).
- Figura 4.46** Sector de C.Casares y alrededores para cuatro fechas: IS1)-IS2) con IS3)-IS4).
- Figura 4.47** Sector del Establecimiento El Tostado, IS5) e IS6).
- Figura 4.48** Sector de Pehuajó, IS5) e IS6).
- Figura 4.49** Sector del Establecimiento El Tostado en dos fechas, IS7) e IS8); y sector correspondiente a Pehuajó en IS7) e IS8).
- Figura 4.50** Sector laguna Murphy en dos fechas; IS7) e IS8).
- Figura 4.51** Sector del Establecimiento El tostado en IS9) con precipitación normal y sin meses anómalos; respecto a igual sitio en IS10) año lluvioso.
- Figura 4.52** Sector de laguna de Murphy en tres fechas, IS9), S10) e IS11).
- Figura 4.53** Sector de laguna de Murphy en dos fechas, S12) e IS13).
- Figura 4.54** Sector del Establecimiento El Tostado en dos fechas, IIS12)(arriba) e IS13) (abajo).
- Figura 4.55** Sector de laguna Murphy en dos fechas, IS15) e IS16).
- Figura 4.56** Sector de Pehuajó en dos fechas, IS14) e IS16).
- Figura 4.57** Sector del complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas en dos fechas, IS17) e IS18).
- Figura 4.58** Sector de Pehuajó y Establecimiento El Tostado, en dos fechas IS17) e IS18).
- Figura 4.59** Sector del complejo lagunar El Hinojo- Las Tunas en dos fechas, IS18) e IS19).
- Figura 4.60** Vista general que incluyen sectores laguna Murphy y complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, en IS18) e IS19).
- Figura 4.61** Vista general de ISH, al norte del complejo lagunar El Hinojo Las Tunas. Las ISH de 1980, 1981, y 1982, no se aprecia Pehuajó. En la ISH de 1984, derecha abajo, se observa además Pehuajó.
- Figura 4.62** Sector correspondiente a laguna Murphy y el complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas, en cuatro ISH de 1980 a 1984.
- Figura 4.63** Detalle del sector de laguna Murphy en cuatro ISH entre 1980 y 1984.
- Figura 4.64** Detalle del sector correspondiente al partido de Pehuajó, ciudad de Pehuajó y Establecimiento El Tostado.
- Figura 4.65** Complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas en ISH (1980-1984) e IS (1997-2007).
- Figura 4.66** Detalle del complejo lagunar El Hinojo Las Tunas en ISH.

- Figura 4.67** Detalle de las ISH (1980-1984) e IS (1997-2007) en el sector de laguna Murphy (M), inter-médano (I) y lagunas Las Salinas-Los Jagueles (J).
- Figura 4.68** Ejemplos de unidades cartográficas correspondientes a Pehuajó.
- Figura 4.69** Laguna temporaria, en establecimiento "El tostado", Pehuajó, a) Estepa de halófitas dominada por *Distichlis spicata*, *Sarcocornia perennis*, *Bolboschoenus paludosus* (sitio 13), y b) desarrollo de salitre sin vegetación con desarrollo aislado de *Distichlis spicata*.
- Figura 4.70** Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 15.
- Figura 4.71** Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 16.
- Figura 4.72** Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 17.
- Figura 4.73** Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 18.
- Figura 4.74** Canal Jauretche y ruta 226 en Pehuajó.
- Figura 4.75** Laguna El Recado, Pehuajó.
- Figura 4.76** *Hapludol éntico* con *Triticum aestivum*, trigo, ambiente lomas altas en C.Casares.
- Figura 4.77** *Hapludol éntico* en un ambiente de lomas altas en 9 de Julio.
- Figura 4.78** Ambiente de suelo *Hapludol ácuico* en sitio 34 en la localidad de Berutti.
- Figura 4.79** Ambiente de suelo *Udipsament típico* y *Hapludol éntico*.
- Figura 4.80** Unidades cartográficas para un Est.agropecuario de Berutti, T. Lauquen.
- Figura 4.81** Ambiente de loma, media loma y bajo, con suelo *Hapludol éntico*, *Natracuol típico*, *Natracualf típico* respectivamente, con vegetación asociada.
- Figura 4.82** Suelo no afectados por anegamientos e inundaciones, sin rasgos hidromórficos, y suelos sujetos a excesos hídricos con concreciones de Fe-Mn.
- Figura 4.83** Ambientes inundados.
- Figura 4.84** a) Secuencia de ambientes degradados como consecuencia de tiempos variados de agua hasta extremos de 2 años - b) Detalles del suelo con desarrollo de "salitre negro" (humatos sódicos), encostramiento, y comunidad halófitas (*Distichlis sp* y *Salicornia sp*).
- Figura 4.85** Toposecuencia de suelos, vegetación, y ambiente en Berutti.
- Figura 4.86** Toposecuencia de suelos, vegetación, y ambiente entre Mari Lauquen y Berutti.
- Figura 4.87** Laguna Murphy.
- Figura 4.88** Laguna Las Tunas Grandes.
- Figura 4.89** Laguna El Hinojo.
- Figura 4.90** Laguna Cuero de Zorro, Rivadavia.
- Figura 4.91** Laguna de Cochicó, Guaminí.
- Figura 4.92** Lago Epecuén.
- Figura 4.93** Ex Villa Turística Epecuén.
- Figura 4.94** Lagunas de Gómez y Mar Chiquita, Junín.
- Figura 4.95** Distribución de los datos hidroquímicos en el diagrama de Piper-Hill.
- Figura 4.96** Patrones hidrogeoquímicos a) Grupo 1, b) Grupo 2; c) Grupo 3; d) Grupo 4, y e) Grupo 5 (en pagina siguiente).
- Figura 4.97a** Composición química de las aguas del Grupo 1.
- Figura 4.97b** Composición química de las aguas del Grupo 2.
- Figura 4.97c** Composición química de las aguas del Grupo 3.
- Figura 4.97d** Composición química de las aguas del Grupo 4.
- Figura 4.97e** Composición química de las aguas del Grupo 5.
- Figura 4.98** Correlación matemática a) Cl⁻ y STD, b) SO₄²⁻ y STD, c) Na⁺ y STD, d) K⁺ y STD.
- Figura 4.99** Abundancia relativa de principales metales de tierras raras en el agua muestreada.
- Figura 4.100** Correlación entre la relación isotópica de isótopos estables del oxígeno (¹⁸O/¹⁶O) y del hidrógeno (D/H), correspondiente a muestras de agua del área estudiada. Se toma como referencia la línea GMWL.
- Figura 4.101** Correlación entre las relaciones isotópicas medias de isótopos estables del oxígeno (¹⁸O/¹⁶O) y del hidrógeno (D/H), correspondiente con las muestras del área de estudio y de otros países. Se toma como referencia la línea GMWL.
- Figura 4.102** Área de estudio, captada del modelo MODFLOW luego que se incorporaron al mismo, curvas de nivel con equidistancia de 10m y referencias geográficas.

- Figura 4.103** Corte transversal de área y conductividad hidráulica.
- Figura 4.104** Corte transversal del área y coeficiente de almacenamiento.
- Figura 4.105** Superficie freática sin recarga.
- Figura 4.106** Superficie freática con recarga.
- Figura 4.107** Corte transversal del área de estudio, y condiciones de carga al este del área.
- Figura 4.108** Corte transversal del área de estudio, y condiciones de carga al este del área.
- Figura 4.109** Flujos de agua subterránea a) Vista en planta del flujo este a oeste, y b) corte transversal correspondiente a línea rosa indicada en a); en b1) para 10 años, b2) para 20 años, y b3) para 30 años de esfuerzo hídrico.
- Figura 4.110** Ejemplo de toposecuencia general entre Mari Lauquen y Berutti, Trenque Lauquen, indicando zonas y sistema de flujo.

ANEXOS

	Página
ANEXO A -DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO, ZONA BONAERENSE NOROESTE	1 62
ANEXO B- CLIMA.	63 95
ANEXO C, PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	96 97
ANEXO D, AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	97 103

RESUMEN

Planteamiento del problema y características fisiográficas de la región

La región noroeste de la provincia de Buenos Aires denominada *Pampa Arenosa, PA* (5,500km²) se caracteriza por la incidencia cíclica de inundaciones y sequías, que se registran desde 1576 a la actualidad, iniciándose el último ciclo húmedo en 1970, con un incremento del 24% de la precipitación. La PA pertenece a una vasta planicie por debajo de los 100m snm, con una pendiente regional de 0.25‰, sin red de avenamiento definida, dentro de la cual se reconocen unidades geomorfológicas mayores: *Medanos Longitudinales* al norte y *Medanos Parabólicos* al sur. La disposición de los médanos longitudinales, arcos paralelos a sub-paralelos con orientación NNE-SSO, transversal a la pendiente topográfica regional (O-E), ejercen un control notorio en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, observable en imágenes de satélite. Se presenta el desarrollo de un buen número de lagunas con *extensión* muy variada, desde 0.01ha a 15,000ha siendo las más comunes las pequeñas con superficie de 0.05 y 10ha. Esta región se integró artificialmente con la Cuenca del Río Salado (170,000km²) mediante canales que unen el complejo lagunar Hinojo-Las Tunas, con el Río Salado, quedando integrada actualmente por tres sub-regiones hídricas básicas: Noroeste, Salado-Vallimanca, y Lagunas Encadenadas del Oeste.

Posterior a una inundación, durante el período seco, el suelo se degrada, pierde estructura, se saliniza y alcaliniza por evaporación y ascenso capilar de agua subterránea con alta salinidad (>2,000mg/l de sólidos totales disueltos, STD, en un 50% de la región). Las causas de la inundación son naturales y también antrópicas, debido a que se construyen obras que agravan la situación, las cuales fueron de gran costo financiero y de incierta eficiencia operativa. La superficie freática, que anterior a 1986 estaba a 3-6m de profundidad, en tiempos recientes aflora en superficie en sectores más bajos.

Como efecto social grave de las inundaciones, se destaca la migración de población desde centros rurales, y daños directos a la producción, además de otros daños difíciles de cuantificar monetariamente que implican importantes pérdidas de bienestar para la sociedad. La Cuenca del Río Salado, que incluye el área de estudio, produce aproximadamente del total nacional argentino, el 60% de trigo, 45% de maíz, 90% de soya, 67% de girasol y 30% de la producción ganadera. Así por ejemplo, para la inundación de 1986 se estimaron los siguientes daños directos a la producción: 516 millones de USD en agricultura, 35 millones de USD en ganadería, y 60 millones de USD en la infraestructura rural pública (PMI, 1999). Para la realización de obras de infraestructura realizadas en la región, que incluye canales, se estima una inversión aproximada de 1,100 millones de USD y un valor medio estimado de Tasa Interna de Retorno Económica de un 12 % (Rosa *et al.* 2006).

El problema planteado genera serias dificultades productivas, económicas y sociales por la ineficiente identificación y manejo del problema, lo que ha conducido a una ausencia de sustentabilidad de los sistemas productivos imperantes en la región, los que se realizan sin considerar en profundidad como las acciones propuestas afectan el paisaje.

Se aprecia así, la necesidad de analizar las prácticas de manejo agropecuario y forestal, desde la visión holística de la *geografía*, específicamente desde la *geografía física y ambiental*. Se busca entender la interacción que existe entre el subsistema agua subterránea - agua superficial, así como su interacción con los sub-sistemas de vegetación, tipo de suelo, relieve y unidades geológicas involucradas, visión que incorpora sub-sistemas que incluyen implicaciones sociales y económicas asociadas. A partir de la *geografía física*, es posible definir las prácticas de manejo de suelo para uso agropecuario y forestal en forma sustentable, basándose en la comprensión del paisaje. Siendo el paisaje la unidad ecológica de superior jerarquía al ecosistema, un sistema socio-económico que acciona sobre el ambiente.

Hipótesis y objetivos

Se establecieron como *hipótesis*: a) La región de estudio es una zona de descarga y las inundaciones se vinculan al comportamiento regional del agua subterránea debido a la precipitación que se infiltró en zonas alejadas y en tiempos anteriores; b) las soluciones deben incorporar el manejo del suelo, existiendo ventajas comparativas con la implementación de actividades productivas que consuman agua subterránea en forma compatible con su funcionamiento, y c) el considerar zonas de recarga y descarga como unidades que se complementan en su funcionamiento geomorfológico, químico, hidráulico, edáfico, biológico, y relieve permitirá definir prácticas de recuperación del suelo que contribuyan al control de las inundaciones.

Se tuvo como *objetivo general*, conocer los procesos implicados en el fenómeno de inundación para proponer medidas de uso agropecuario-forestal, y la recuperación de suelos degradados, a partir de la comprensión del funcionamiento hidrológico de la región, incorporando un criterio paisajístico de manejo que incluya aspectos socio-económicos. Para esto, los *objetivos parciales* incluyeron: *i)* definir el funcionamiento hidrológico del área de estudio y su interacción con áreas vecinas, con particular interés en la jerarquía de los sistemas de flujo de agua subterránea, estableciendo zonas de recarga y descarga, así como los procesos de aporte subterráneo a las zonas inundadas; *ii)* caracterizar el tipo de suelo, su degradación antrópica y natural; *iii)* estimar el costo y beneficio relativo de las propuestas planteadas; *iv)* analizar la factibilidad de adopción por la sociedad de las actividades productivas propuestas, seleccionadas por ser científicamente correctas, económicamente viables, y ambientalmente sustentables.

Alcances de esta tesis

Se genera en este trabajo una propuesta metodológica para identificar zonas de recuperación y manejo de suelo degradado por inundación partiendo de definir como funciona el agua subterránea, y como ésta se vincula a otros elementos del paisaje: “establecer una *secuencias lógicas de intervención en el sitio desde el punto de vista físico, técnico, económico, social*”; desde una perspectiva ambiental.

Antecedentes

Los antecedentes vinculados al tema son considerados como punto de partida y complemento de la información recopilada en campo y elaborada en la presente tesis. Sin embargo, la información existente y la aquí obtenida se analiza desde la perspectiva de los sistemas de flujo del agua subterránea como eje integrador del ambiente en un paisaje dado, donde el hombre participa en forma permanente en los diferentes elementos de dicho ambiente.

Los **temas incluidos** en la revisión bibliográfica son: *i)* características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de la región; *ii)* descripción edáfica del área de estudio y su relación con relieve, vegetación, degradación edáfica e hídrica, y su recuperación; *iii)* comunidades vegetales; *iv)* clima del noroeste bonaerense, caracterización bio-climática, clima edáfico, cantidad de agua para los cultivos, cambio climático y variabilidad del clima, *v)* ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos, historia, origen, tipo, características físico-químicas y bióticas del agua de las lagunas, así como potencialidad productiva y económica; *vi)* características socio-económicas de la región, tipos de actividad, organización de empresas agropecuarias, implicancias que las inundaciones y los sistemas productivos han tenido en la socioeconomía de la región; potencialidades y limitaciones al desarrollo regional; *vii)* las inundaciones en la región pampeana, historia y características; *viii)* recomendaciones de la bibliografía internacional sobre manejo de vegetación y suelo, y cómo influyen sobre zonas de recarga o descarga de agua subterránea, agua superficial y ciclo hidrológico en general; técnica del *Bio-drenaje* (principios, experiencias, y recomendaciones); y de la bibliografía local y otras regiones semi-áridas y sub-húmedas de Argentina sobre recomendaciones y experiencias del

manejo de la cubierta vegetal herbácea (natural e implantada), y arbórea, revisión de cultivos capaces de tomar agua de la superficie freática; *ix*) principios básicos y fundamentos del uso de los sistemas de flujo en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico; relación entre ecosistemas y agua subterránea; el paisaje como unidad de estudio de la geografía física, componentes del paisaje y su integración.

Área de trabajo

La investigación se realizó en *dos escalas de análisis*, *a) regional* que incluye desde la vecindad de la provincia de Mendoza al oeste, colindando con la Cordillera de los Andes (1,000 y 6,959m snm en la eco-región Altos Andes, hasta 500m snm en la Estepa patagónica y Monte de Ilanura; y en San Luis, 200-500m snm en Chaco seco, Espinal); y la provincia de Buenos Aires (eco-región Pampas entre menos de 100 hasta 200m snm); *b) mayor detalle* en la provincia de Buenos Aires en la región Noroeste bonaerense (Pampa arenosa) en el sector de Médanos Longitudinales, centrando el estudio en los partidos de *Pehuajó*, y *Trenque Lauquen*, y en menor medida en otros partidos vecinos vinculados *a priori* hidrogeológicamente (Carlos Casares, 9 de Julio), y en lagunas de los partidos de Guaminí, Carhué, y Junín. Esta secuencia en alturas y ambientes, que inicia en la cordillera y termina en el océano Atlántico, supone la ubicación de la zona de recarga regional en los sitios más altos de la Provincia de Mendoza, con zona de descarga regional, en la costa del océano Atlántico, o más allá.

En la regionalización climática a nivel país, el noroeste bonaerense, se ubica en la región **templado cálida seca**, y en la efectuada para la Cuenca del Río Salado, en la zona agroclimática D, siendo Pehuajó el referente (precipitación media anual, 750-900 mm, temperatura anual media 16°C, estaciones bien definidas, acentuado carácter continental, y evapotranspiración potencial media histórica anual, 800 a 850mm). Cálculos con visión agronómica sugieren que en diciembre y enero se da déficit de agua para los cultivos, magnificado por la baja retención hídrica del suelo. Los principales *suelos*, clasificados por Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) *que* aparecen en la unidad geomórfica de Médanos son: *Udipsament típico* y *Hapludol éntico*; Mantos: *Hapludol éntico* y *Hapludol típico*; Mantos someros: *Hapludol ácuico*, *Hapludol tpto árgico* y *tpto nátrico*; Depresiones intermedanasas: *Epiacuol tpto árgico* y *tpto nátrico*; y Cubetas de deflación: *Natracuol* y *Natracuolf típico*.

Materiales y métodos

Las **precipitaciones** ocurridas (períodos de hasta 95 años, según datos asequibles) en el área de trabajo y otras ubicadas en regiones desde donde se indica proviene agua que ingresa dicha área, fueron analizadas por el criterio de anomalías según recomendaciones de García y Hernández (1988). Se analizó la evolución climática de algunas localidades ubicadas en las provincias de San Luis, Mendoza, La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires. En esta última, en las localidades de Villegas, Lincoln, L.N. Alem, C. Tejedor, Henderson, Salliqueló, y 9 de Julio; y con mucho mayor detalle en Pehuajó y Trenque Lauquen.

Se realizó el **procesamiento de imágenes satelitales**, efectuando su georreferenciación, combinación de bandas a fin de resaltar elementos del terreno (con algoritmos), y análisis multi-temporal de *Imágenes Satelitales Históricas (ISH)*, *Landsat MSS*, facilitadas por el Centro de Sensores Remotos de la *Fuerza Aérea Argentina* (1980-1985) por solicitud de la CONAE, *Comisión Nacional de Actividades Espaciales*, quién a su vez proveyó por intermedio del INTA Pehuajó, *las imágenes satelitales (IS) entre los años 1997 y 2007*, de los satélites Landsat 5, y Landsat 7. Se realizó también un análisis de cartografía planialtimétrica del IGM (Instituto Geográfico Militar, Argentina) que junto con las imágenes satelitales, permitió elaborar modelos de elevación.

Se **extrajeran de campo** muestras de suelo superficial y hasta 2m de profundidad según el sitio, y de agua en diferentes manifestaciones: lagunas temporarias, permanentes, freáticos

y pozos según accesibilidad. Se efectuaron recorridos de verificación de rasgos geológicos superficiales, y en cada sitio se midió pH, temperatura, potencial óxido-reducción, oxígeno disuelto, y conductividad eléctrica del agua, características morfológicas de suelo, se describió la vegetación y relieve. *En laboratorio, se analizaron iones mayoritarios:* Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻; *componentes minoritarios y elementos trazas:* F⁻, Br⁻, I⁻, As³⁺, Si⁴⁺, Li⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺, Cr⁵⁺, Zn²⁺, Sn⁴⁺, Zr²⁺, Al³⁺, Ti⁴⁺, Mo³⁺, V⁵⁺, W³⁺, Ga³⁺, Ge⁴⁺, Se²⁺, Pd⁴⁺, Rb⁺, Sb³⁺, Cs⁺, Re²⁺, Tl⁺, Hg²⁺, Pb²⁺, Th³⁺, U³⁺; y tierras raras: Sc³⁺, La³⁺, Ce³⁺, Pr³⁺, Nd³⁺, Sm³⁺, Eu³⁺, Gd³⁺, Tb³⁺, Dy³⁺, Ho³⁺, Er³⁺, Tm³⁺, Yb³⁺, Lu³⁺, Y³⁺; así como *isótopos ambientales estables:* ¹⁸O y ²H. En suelo, se midió pH, conductividad eléctrica, cationes solubles, relación de adsorción sodio, y materia orgánica, por procedimientos estándar.

Para la **caracterización del agua, origen, evolución, y condiciones del flujo subterráneo**, se aplicaron modelos hidrogeoquímicos, y el modelo MODFLOW.

Los procedimientos de validación y cálculo utilizados para la **modelación hidrogeoquímica** son los siguientes: *i)* balance estequiométrico, *ii)* clasificación hidroquímica de Kurlov, *iii)* diagramas de Piper-Hill, *iv)* diagramas de Stiff, *v)* patrones estequiométricos, *vi)* balance de masa y de mezcla de aguas, con sistema informático MODELAGUA: a partir de modelos de reconocimiento de patrones hidrogeoquímicos, *vii)* estado de saturación del agua, por el uso del índice de saturación o solubilidad, y procesadas por PHREEQE, *xiii)* determinación de anomalías y asociaciones geoquímicas, *ix)* interpretación de componentes minoritarios, y traza, *x)* interpretación de abundancia relativa de los metales de Tierras Raras, *xi)* procesamiento estadístico, análisis de regresión y correlación entre datos hidroquímicos para corroborar procesos de interacción agua-roca, y definir como evoluciona la composición química; y correlación entre la relación isotópica de isótopos estables del oxígeno y del hidrógeno.

El **modelo MODFLOW** se usó como herramienta adicional para entender las condiciones originales del flujo subterráneo en el área del noroeste bonaerense como punto de partida para comprender el funcionamiento actual del sistema. Establecer si efectivamente hubo un cambio en el funcionamiento del sistema de agua subterránea debido al aumento de precipitación del 24%. Este modelo, *resuelve la ecuación que representa el flujo de agua subterránea* en tres dimensiones (medio anisótropo, heterogéneo, igual densidad, isotérmico y baja salinidad). Además, define los componentes verticales de flujo, recarga-descarga; y comportamiento de flujos de tipo local, intermedio y regional en el área de estudio; establece la respuesta de la superficie freática ante diferentes escenarios de recarga (derivada de la precipitación); e incorpora evidencia del flujo subterráneo del tipo de suelo, calidad fisicoquímica del flujo, y tipo de vegetación. Así, se logra integrar información recopilada en gabinete, en campo, y la generada por el propio modelo. Se consideran en forma directa: topografía, distribución de unidades geológicas; elevación de superficie freática, características hidráulicas como conductividad hidráulica horizontal y vertical, coeficiente de almacenamiento específico, porosidad; y características indirectas: tipo de suelo, identificación físico-química del agua, situación del flujo en las fronteras (carga constante, impermeable) y condiciones iniciales del flujo de agua subterránea; así como recarga y posición de la roca basamento. Se efectúa la entrada de datos a módulos que se seleccionan, y se obtiene diferente tipo de salida, tanto por módulo, como general. Se logran simulaciones numéricas de diferentes alternativas que representan el modelo conceptual de funcionamiento en tres dimensiones espaciales.

El **análisis socio-económico** realizado incluyó las actividades de uso frecuente en la región, bajo esquemas tradicionales de producción en agricultura (trigo, maíz, soya, y girasol); y en ganadería bovina (cría, invernada y ciclo completo), y se incluyeron otras actividades factibles para las condiciones de sequía-inundación alternantes identificadas: *sistemas forestales, silvopastoreo con especies arbóreas nativas o exóticas; y la piscicultura*. La evaluación económica de los sistemas productivos considera los diferentes tiempos de retorno económico

de las actividades y se transforman para su comparación en base anual. Se elaboró un *flujo de fondo financiero* para 30 años, ajustado a las características de las actividades. *Los márgenes brutos* se calcularon para sistemas productivos medios de la región, y ajustados al tipo de suelo. A partir de esto, se calculó el *Valor Actual Neto (VAN)* de las rotaciones (10 años) y se llevó a una base anual tanto para los lotes de 100ha y en establecimientos de 400ha (240ha agrícolas y 160ha ganaderas). La piscicultura se analizó por la información existente. La factibilidad social, se analizó con base en la historia, características de la población, consulta de productores y profesionales de la región.

La ***interpretación e integración de variables*** se realizó a partir de la *aplicación de los sistemas de flujo de agua subterránea* como herramienta que permite estudiar el paisaje. Se parte de definir cada uno de los *elementos que integran el paisaje*, y sus relaciones básicas naturales considerando *procesos*, y cómo estas intervienen con la sociedad del noroeste bonaerense.

Resultados y Conclusiones

El análisis del clima revela que las variaciones observadas en la ***precipitación*** no responden a un cambio climático, entendido este según Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (causas antrópicas), sino que las variaciones se enmarcan en el concepto de variabilidad climática (causas naturales). En el noroeste bonaerense, y en otras regiones del país, la alternancia de precipitación y sequía se registra desde el siglo XVI a la fecha, antes que se produjera la Revolución Industrial (1750-1820).

Se encuentra que los ***procesos implicados en el fenómeno de inundación*** se vincula principalmente al funcionamiento hidrológico del área de estudio que recibe agua proveniente de otras áreas (flujos subterráneos desde el oeste y norte), y precipitación superior a la normal en forma generalizada en muchos sitios del país vinculados con la región del noroeste, la cual funciona como una gran zona de descarga de flujos intermedios. Esto en una geomorfología natural de escasa pendiente, y escorrentía con presencia de médanos, inter-médanos, y cubetas de deflación, que han sido afectados con obras de ingeniería que en grado variable perturban dicha escorrentía, determinan la existencia de exceso hídrico en amplios sitios. Se reconocen además zonas de recarga y descarga de flujos locales, pero no se identifican las zonas de recarga de flujos intermedios o regional. La *zona de descarga*, usualmente en lagunas de Buenos Aires, es donde se mezcla el agua de flujos intermedio o local con agua de carácter más profundo y regional.

El agua tiende a evolucionar desde facies de tipo *sulfatada-bicarbonatada* y *bicarbonatada-sulfatada*, prosiguiendo por facies bicarbonatada-clorurada, seguida de *clorurada-bicarbonatada*, hasta facies *clorurada* y *clorurada-sulfatada*. En relación con los cationes, la evolución va desde *cálcica* hasta *sódica*. El agua que prevalece en la región del noroeste es de tipo *clorurada-sódica*. El agua de las lagunas de la provincia de Buenos Aires tiene un origen diferente al de otras manifestaciones de la propia provincia, así como de Mendoza y San Luis. La elevación de la superficie freática no se corresponde con la precipitación acaecida en el lugar, hay aportes de agua subterránea.

La combinación de bandas de imágenes satelitales georreferenciadas que utiliza el algoritmo *Tasseled Cap*, con una profundización de las asociaciones entre lo observado en las imágenes y lo reconocido en campo, resulta en una herramienta apropiada para contribuir a definir zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga.

Las zonas de recarga se correspondieron con suelos clasificados como *Hapludol éntico*, *Udipsament típico*, sin hidromorfismo. salinidad, o alcalinidad. Los suelos de descarga se correspondieron con *Natracuol*, *Natracualf*, *Hapludol ácuico*, y también con *Hapludol éntico*,

pero en este caso con hidromorfismo, salinidad y alcalinidad. En la región de estudio, las zonas con descargas de flujos intermedios se corresponden con la presencia de humatos sódicos en superficie y muy escasa, a nula, cobertura vegetal. Alta cobertura vegetal con comunidades halófitas e hidrófitas en general se corresponde con descargas locales.

Se recomiendan tres tipos de acciones a fin de coadyuvar con las alternancias de sequía-inundación: a) *Mejorar y ajustar al ambiente los sistemas productivos actuales*, utilizando la tecnología aprovechable y no utilizada; b) *Implementación de otros sistemas productivos*, forestación y sistemas silvopastoriles con especie nativa *Prosopis sp.*, y como exótica *Pinus taeda*, *E. viminalis*, y *E. tereticornis*, según el sitio; y c) *Incorporar la acuicultura* dentro de los esquemas tradicionales agrícola-ganaderos (cultivo comercial de pejerrey en lagunas).

Respecto al efecto ambiental de los árboles, si bien se advierte sobre un posible peligro que corren las grandes plantaciones en época seca, o sobre la salinidad, existe suficiente información a nivel mundial que muestra la utilidad de la implementación forestal, aún en sitios con régimen hídrico semiárido, por sus acciones de *biodrenaje*, *control de superficies freáticas*, debiendo entonces, hacerse hincapié y profundizar los estudios que posibiliten definir los sitios donde efectivamente las actividades silvopastoriles y forestales, coadyuven en el control de situaciones climáticas extremas, estos es, definir zonas de recarga y descarga.

Las ventajas sociales, económicas y ambientales de las actividades acuícolas y del silvopastoreo, deberían ser incorporadas en forma efectiva en las tareas que implementa el Estado para coadyuvar con el control de inundaciones, ya que la construcción de canales no sólo resulta conflictiva en muchos aspectos, sino que además es claramente insuficiente. Asimismo, el estado debería realizar programas de investigación, apoyo crediticio, y otros, debido a la posibilidad de generar ingresos, mano de obra, y mejorar la situación socio-económica de un amplio estrato social, propietario de superficies pequeñas, o sin ellas, a partir de estas actividades.

Sin embargo, la implementación de prácticas de manejo sin un conocimiento de las zonas que se complementan en su funcionamiento hidrológico, impide garantizar que las mismas progresen y coadyuven en el control o recuperación de degradaciones edáficas, así como en el control de inundaciones o anegamientos por elevación de la superficie freática.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Características generales del área de estudio

El presente estudio, se emplaza en la provincia de Buenos Aires, Argentina, en la región del noroeste de la provincia de Buenos Aires denominada también como *Pampa Arenosa, PA* (5,500km²), que a nivel país, forma parte de una planicie de mayor extensión que se denomina *Llanura Pampeana o Pampa Húmeda* (1'000,000 km²).

Esta región, pertenece a una vasta planicie por debajo de los 100m snm, con una pendiente regional de 0.25‰, sin red de avenamiento definida, dentro de la cual se reconocen unidades geomorfológicas mayores: *Medanos Longitudinales* al norte y *Medanos Parabólicos* al sur. La disposición de los médanos longitudinales, arcos paralelos a sub-paralelos con orientación NNE-SSO, transversal a la pendiente topográfica regional (O-E), ejercen un control notorio en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, observable en imágenes de satélite. Entre los médanos, se presentan unidades geomorfológicas denominadas de intermédano, donde se desarrolla un gran número de lagunas con *extensión* muy variada, desde 0.01ha a 15,000ha siendo las más comunes las pequeñas con superficie de 0.05 y 10ha.

El principal curso de agua de la provincia de Buenos Aires, Río Salado, que desemboca en la Bahía de Samborombón (océano Atlántico) recibe aguas proveniente de la región del noroeste bonaerense, luego de su conexión con canales a dicho río. Los canales, unen el complejo lagunar Hinojo-Las Tunas, ubicado en el noroeste bonaerense en el partido de Trenque Lauquen, con el Río Salado. Actualmente la Cuenca del Río Salado (170,000km²) queda integrada por tres sub-regiones hídricas básicas: Noroeste, Salado-Vallimanca, y Lagunas Encadenadas del Oeste.

La cuenca del Río Salado es una importante productora de bienes agropecuarios a escala nacional (25% de la producción de granos y carne, y 20% de la producción láctea), con características climáticas, geomorfológicas, hidrológicas, topográficas y geológicas que favorecen la ocurrencia de inundaciones asociadas con fases climáticas húmedas en forma relativamente frecuente y extensiva, que alternan en forma cíclica con sequías. Esta alternancia entre inundación y sequía, ha sido registrada desde el año de 1576 a la actualidad iniciándose el último ciclo húmedo en 1970, registrándose las inundaciones de la década de 1980 como las más graves (Moncaut, 2003).

Una ***inundación*** es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, su origen es diverso y controvertido, lo que comparten son sus consecuencias, al dificultar e impedir el normal desarrollo económico y social del sitio afectado.

Respecto a la ***sequía***, Durán (2002) afirma que es un fenómeno poco definido, investigado, y escasamente percibido por la población urbana, no así por la población de zonas rurales, cuyos efectos pueden ser incluso más graves que los producidos por la inundación. Este último autor, indica que según el Servicio Meteorológico Nacional (1988) la sequía "*en términos generales puede ser considerada como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un período prolongado para satisfacer las necesidades de los elementos bióticos locales. Estas necesidades dependen de la distribución de las poblaciones de plantas, animales y seres humanos, de su modo de vida y del uso de la tierra*". Por lo que expuesto, la inexactitud de usar "*disponibilidad*", "*período prolongado*" y "*región*", dan más oscuridad al concepto que se intenta describir, ya que se puede tener un hábitat que se abastece en forma perenne de agua subterránea y no experimenta efecto alguno por la falta de lluvia.

Durán (2002) define dos tipos de sequía: “*sequía agrícola*” y “*sequía hidrológica*”. La *sequía agrícola* se refiere al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agrícola en relación con lo normal o los valores esperados para una región dada, en general son de corta duración. La *sequía hidrológica*, es cuando se produce una precipitación menor a la media estacional en escala regional, afecta a grandes superficies, lo que se traduce en un nivel de aprovisionamiento anormal de los cursos de agua, descenso notable de la superficie freática, secado de lagunas, no coexiste con la inundación, puede morir la vegetación y comenzar la erosión eólica (Barakat y Handoufe, 1998).

La sequía no es, entonces, una entidad tan bien definida como la inundación, su subjetividad está dada porque procede de un decrecimiento en el promedio de la precipitación y su relación con la necesidad de agua en un período de tiempo particular, por un grupo particular y en un espacio particular.

Las ***inundaciones y sequías***, causan daños directos en el ámbito rural que comprometen la viabilidad económica de los sistemas productivos, y el desarrollo social. Como efecto social grave se destaca la migración de población desde centros rurales, y daños directos en la producción estimados en 300 millones de USD anuales para recurrencias de inundaciones de 1 cada 10 años, y 1,000 millones de USD de pérdida si se consideran los daños directos e indirectos (Maiola y Cacivio, 2003). En el PMI (1999) se indica que por ejemplo, la inundación de 1986 produjo daños directos en la producción de la Cuenca del Salado que fueron estimados en: 516 millones de USD en agricultura, 35 millones de USD en ganadería, y 60 millones de USD en la infraestructura rural pública.

Los daños persisten en el ambiente aún retirada el agua. El suelo se degrada: pierde estructura, se saliniza y alcaliniza, en períodos secos, por evaporación y ascenso capilar del agua subterránea; se produce el deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea por contaminación y salinización; la eutrofización de cuerpos de agua; deterioro de hábitat natural y biodiversidad regional (SACyP-CFA; 1995; Casas, 2003).

Si bien en el noroeste bonaerense se reconoce un origen natural de la inundación, vinculado al incremento de la precipitación, que en este último ciclo húmedo fue de aproximadamente 24% respecto a la media histórica anual, conduciendo a una evolución de clima semiárido a clima sub-húmedo-húmedo en estas últimas décadas; se ha visto marcadamente agravado por las acciones del hombre. El hombre ha incidido por la ejecución de obras no siempre adecuadamente planificadas debido a la urgencia de reclamos sociales y económicos frente a una inundación; o planificándolas en un contexto de intereses contrapuestos entre las diferentes jurisdicciones municipales, provinciales y nacionales; y desconociendo como los diferentes elementos que integran el *relieve* se vinculan y coadyuvan en la ocurrencia de los fenómenos descritos. Esto conduce a una crisis de los sistemas naturales de avenamiento de la región, y se manifiesta en vastos anegamientos que tienden a la persistencia y contribuyen a tornar compleja la situación del territorio en general (Etcheverry, 2003).

La Cuenca del Río Salado, puede recibir aportes de agua desde otras provincias, tal como, el aporte potencial desde la Laguna La Picasa en Santa Fe, y Río Quinto en San Luis y Córdoba (PMI, 1999), donde también se ha efectuado construcción de canales que conectan bajos entre estas provincias (Obra Cuenca la Picasa, que involucra cuatro provincias en el referente del Plan Federal de Control de Inundaciones-Área Pampeana Central).

En el noroeste bonaerense, la superficie freática, que hasta 1985 se encontraba lo suficientemente profunda, a partir de 1986 comienza a aflorar en los sectores más bajos, lo cual se atribuye en diversas publicaciones al inicio del ciclo húmedo. Iacobucci (2000) indica que el 50% de la superficie de la región noroeste, posee agua subterránea en condiciones de tipo libre

o freática, con una salinidad mayor a 2,000mg/l (superior a 2,500 $\mu\text{mhos/cm}$) lo cual en períodos secos produce la salinización y alcalinización del suelo por ascenso de agua subterránea cuyo contenido en sales se concentra por procesos de evaporación.

Así, el notorio ascenso que ha sido observado del nivel del agua en lagunas y superficies topográficas bajas, así como el ascenso de la superficie freática a nivel cercano al terreno, se han tratado de controlar por diversos medios como la construcción de drenes y canales. Estos sistemas de drenes comienzan a construirse a principio del siglo pasado sin efectuar estudios con un enfoque interdisciplinario y de sistemas, que incorporen la totalidad de las variables que producen el problema existente, por lo que con frecuencia se condujo a empeorar la situación. Galetti (2003a) afirma que luego de una inundación, a solicitud de los productores afectados, las autoridades sólo atinan a enviar delegaciones técnicas para evaluar y constatar la magnitud del desastre, declarar zona de emergencia tal o cual parte de la provincia, lo que sólo favorece al productor para los fines impositivos, pero no constituye una solución integrada y definitiva, pues indefectiblemente se repiten los ciclos de lluvia mínima y máxima después de cierto tiempo. La canalización y desagüe, las obras de diques o tajamares efectuadas en varios puntos para frenar el avance del agua, no son soluciones agronómicas; los canales llevan millones de metros cúbicos de tierra fértil al mar, y los diques, si bien forman superficies de agua de cierta magnitud donde pueden efectuarse siembra o formar centros de esparcimiento, son de vida útil limitada para sus fines específicos, pues la capacidad de recepción disminuye en períodos relativamente cortos por la sedimentación de los materiales en suspensión.

Se impulsa desde el estado provincial bonaerense el manejo integrado de la cuenca a partir de lineamientos planteados en el estudio del Plan Maestro Integral de la Cuenca del Río Salado, proponiendo el manejo sustentable del agua al concebirlo como integrante del sistema natural (Zárate y Rosa, 2003).

1.2. Estado de avance de estudios previos

El *Plan Maestro* contempla realizar *medidas estructurales y no estructurales* en una superficie de 170,000 km², que surgen de un análisis detallado de toda la información existente en la región relativa a aspectos físicos, económicos, productivos, sociales, potencialidades, limitantes, etc. Entre las medidas estructurales se plantea la construcción de canales de conducción y regulación de excedentes hídricos, obras viales, terraplenes de defensa. Entre las medidas no estructurales, se destaca: gestión y monitoreo de elementos naturales, mantenimiento de infraestructura hidráulica, y prácticas adecuadas de manejo de suelo, agua y vegetación (Zárate y Rosa, 2003; Maiola y Cacivio, 2003). Las *obras estructurales* se inician en el año 1987 (construcción de canales, terraplenes, embalses) a cargo del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires, y continúan, previendo modificaciones en su trazado en función de nuevos estudios. Así, recientemente (2006) se actualizaron y ajustaron los modelos utilizados para la primera etapa y que fueron realizados por la empresa Halcrow (PMI, 1999) con otros modelos que simulan el movimiento del agua como el modelo Mike-She (www.dhigroup.com), sin embargo, no se incorporó el aporte del agua subterránea por carecerse de información, y al parecer, se consideró que no incidirá en los cálculos finales de las obras.

En relación con las *prácticas no estructurales* (prácticas de manejo de los elementos naturales), no han sido definidas, y requieren de análisis y estudio que aún están pendientes de realizar a fin de definir el manejo productivo de la región a futuro para coadyuvar en los procesos de inundación-sequía que ocurren en el área de estudio.

Los estudios consultados respecto al agua de inundación establecen asociación entre precipitación acaecida, evapotranspiración potencial teórica, elevación de la superficie freática

con otras características físicas del ambiente, y principalmente el agua resultante a nivel del suelo. Sin embargo, la respuesta directa de la precipitación acaecida en cada sub-cuenca con: *i)* el aumento de volumen de agua que se almacena en lagunas y su superficie mojada, *ii)* el caudal que circula por cauces de arroyos y aquel que es drenado, *iii)* la calidad físico-química del agua, y *iv)* la respuesta física del agua subterránea en términos de su dirección de movimiento no ha sido suficientemente establecida. La definición precisa de estos aspectos resulta básica para establecer las prácticas de manejo del suelo, agua y vegetación, que complementen las medidas estructurales arriba mencionadas.

Paoli y Giacosa (2003a), afirman que si bien la mayor frecuencia de crecidas extremas y lluvias excepcionales son una causa de incremento del problema de inundación, consideran también, que su origen y consecuencia son, en cierto grado, previsibles. Así, estos autores reconocen tres aspectos principales a considerar en relación con la presencia de una inundación: origen del agua, característica del medio físico (relieve-suelo-vegetación), y uso del suelo. Sin embargo, los antecedentes consultados acusan ciertas interrogantes respecto a cómo estos aspectos se vinculan con el incremento del agua de inundación, y como se producen los procesos relacionados, a modo de poder definir las prácticas agrícola-ganaderas y forestales, que contribuyan a regularlos, o tomar ventaja de ellos.

Gabellone *et al.* (2003) indican que en la Pampa Arenosa se ha generado poca información adecuada; los estudios se han enfocado principalmente al comportamiento del agua superficial, y componentes físicos vinculados a ésta, y si bien también se ha estudiado el agua subterránea, ésta se ha incorporado en forma parcial e indirecta a la componente del agua superficial.

Kruse *et al.* (2002) describe la relación entre precipitación, evapotranspiración, almacenamiento de agua en el suelo, exceso hídrico, avenamiento profundo, superficie freática, escorrentía superficial y profunda, en distintos ambientes del noroeste de la provincia de Buenos Aires. Kruse *et al.* (2002), también centran sus estudios en variaciones de la superficie freática y aumento de superficie anegada en comparación con años anteriores. Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) establece para diferentes ambientes de la pradera pampeana, entre ellos el noroeste bonaerense, relaciones entre precipitación y evapotranspiración, variaciones del nivel freático para largas series de años, sus resultados sólo parcialmente coincidentes con Kruse *et al.* (2001). En ambos trabajos, no se considera como las limitaciones que presentan las variables utilizadas en sus análisis condicionan sus resultados.

Entre los antecedentes más pertinentes para la presente investigación se destaca la extensa revisión de información existente en la región efectuada previa a las tareas de ejecución del Plan Maestro de la Cuenca del Salado (PMI, 1999), referida a clima, suelo, vegetación, socioeconomía, entre otras. En ese informe se indican las restricciones de la base de datos utilizada en la diagramación de las obras, destacando que la debilidad de dicha base es un problema serio y no debería subestimarse en la formulación de recomendaciones, ya que el PMI considera que no podrán obtenerse datos con mayor precisión que los compilados.

Entre las restricciones de la base de datos, se mencionan: *i)* los mapas topográficos del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 datan de 1950-1960 y, aunque el nivel de información es generalmente confiable, la infraestructura está desactualizada; *ii)* se contó con información de 300 estaciones de precipitación para gran parte del período analizado, pero aproximadamente en las últimas dos décadas y actualmente, las estaciones meteorológicas en el área de estudio disminuyeron marcadamente; *iv)* el registro continuo de niveles en los ríos se realiza sólo en pocas localidades y las mediciones hidrométricas son esporádicas, tanto en tiempo como en espacio; *v)* no existe una publicación sistemática de los valores registrados; *vi)* son escasos los datos sobre las formaciones geológicas e hidrogeológicas; *vii)* no hay una recolección sistemática de datos de calidad de agua superficial ni del agua subterránea; *viii)* existe

información específica de localidades pero no hay un inventario global de los elementos naturales del región; *ix*) hay pocos datos cuantitativos sobre el impacto de las inundaciones y los que existen en el sector agrícola no están explícitos. A fin de subsanar esto, en el informe final del PMI (1999) se recomienda el uso de zonas piloto para la implementación de algunos de los programas de desarrollo propuestos.

Asimismo, se destaca, que el estudio sobre hidrogeología realizado bajo el Plan Maestro sólo considera cálculos del balance hídrico los que, para fines de manejo, deberían ser complementados con elementos de estudio de los sistemas de flujo de agua subterránea (Engelen y Jones, 1986) ya que el balance hídrico adolece de precisión y no explica procesos que permitan identificar zonas susceptibles a un manejo agroforestal integrado. Así, a través del balance hídrico se intenta establecer asociación entre elevación de la superficie freática, evapotranspiración, precipitación y otras características físicas del ambiente, con el agua del suelo, principalmente.

1.3. Planteamiento del problema

Tal como se analizará en antecedentes, la bibliografía en general efectúa recomendaciones de manejo productivo (suelo-cultivo) en función de grado de deterioro y posición de la superficie freática, sin vincular al agua subterránea. Asimismo, en los casos en que se indica la necesidad de considerar el origen del agua, las características del medio físico (relieve-suelo), y el uso del suelo y vegetación, a fin de establecer la relación que existe con la ocurrencia de las inundaciones (Paoli y Giacosa, 2003a), surgen interrogantes de cómo estos aspectos se vinculan con el incremento del agua de inundación, y cómo ocurren los procesos que permiten definir prácticas forestales, acuicultura, o agrícola-ganadera, que contribuyan a regular dicha inundación. Por otra parte, no ha sido suficientemente establecida la respuesta directa de la precipitación en la superficie de cada sub-cuenca, al no definirse su sitio de origen, recorrido, y conexión del flujo subterráneo entre cuencas superficiales.

Se requiere entonces comprender integralmente los procesos que producen la inundación a partir del conocimiento de la conexión que existe del agua subterránea entre cuencas superficiales, la generación, distribución y conexión de flujo subterráneo intra-cuenca superficial; buscando alternativas de manejo productivo que incorporen al medio físico y la importancia del agua como ente dinámico; que permita proponer una solución técnicamente viable, ambientalmente válida, y compatible con un esquema social y económico de desarrollo rural y urbano. En la actualidad, no se dispone de una metodología de sencilla implementación a fin de conocer el funcionamiento de zonas de recarga y descarga del agua subterránea que permita definir donde las prácticas de manejo deben ser implementadas de modo de asegurar su sustentabilidad, y que se constituyan en mejoras del sitio.

1.4. Hipótesis

Los siguientes aspectos extraídos de los antecedentes de la región de estudio, fueron tomados de base para establecer las hipótesis de esta investigación:

- la precipitación se incrementó 24% respecto a la primera parte del siglo XX (>200mm)
- en función de las características del suelo, la infiltración *per se* (conductividad hidráulica-saturada- $K=10^{-3}$ a 10^{-6} cm/s) no permite explicar el ascenso de la superficie freática como una respuesta inmediata a la lluvia acaecida, y
- el 50% de la superficie de la región noroeste posee agua subterránea de tipo libre o freática, con salinidad total mayor a 2,000mg/l (superior a 2,500µmhos/cm y pH 8).

Esto sugiere y permitió plantear las siguientes *hipótesis de trabajo*:

- a) si bien la lluvia local tiene incidencia en la región de estudio, esta es una zona de descarga y las inundaciones se vinculan también, al comportamiento regional del agua subterránea debido a la precipitación que se infiltró en zonas alejadas (decenas-centenas de kilómetros) en tiempo anterior,
- b) las posibles soluciones deben incorporar el manejo del suelo, existiendo ventajas comparativas con la implementación de actividades productivas que consuman agua subterránea en forma compatible con su funcionamiento, y
- c) el considerar zonas de recarga y descarga como unidades que se complementan en su funcionamiento geomorfológico, químico, hidráulico, edáfico, biológico, y relieve permitirá definir prácticas de recuperación del suelo que contribuyan al control de las inundaciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

El objetivo general es conocer los procesos implicados en el fenómeno de inundación para proponer medidas de uso agropecuario-forestal, y la recuperación de suelos degradados, a partir de la comprensión del funcionamiento hidrológico de la región, incorporando un criterio paisajístico de manejo que incluya aspectos socio-económicos.

1.5.2. Objetivos parciales

- a) Definir el funcionamiento hidrológico del área de estudio y su interacción con áreas vecinas, con particular interés en la jerarquía de los flujos de agua subterránea. A fin de establecer zonas de recarga y descarga, así como los procesos de aporte subterráneo a las zonas inundadas.
- b) Caracterizar el tipo de suelo, su degradación antrópica y natural.
- c) Estimar el costo y beneficio relativo de las propuestas planteadas
- e) Analizar la factibilidad de adopción por parte de la sociedad de las actividades productivas propuestas seleccionadas por ser científicamente correctas, económicamente viables, y ambientalmente sustentables.

1.6. Justificación del proyecto

Pla Sentis (2005), señala para América Latina en general, que las políticas de desarrollo y de expansión agrícola en las últimas décadas han llevado frecuentemente a procesos de degradación de suelo y agua, afectando en forma negativa cuencas hidrográficas importantes, con descenso en la productividad, aumento en el costo de producción, e incremento en los problemas relacionados con la suplencia de agua, inundaciones, deslizamientos de tierra, sedimentación en embalses, desertificación, todos ellos con importantes consecuencias sociales y económicas. Este autor afirma que no obstante existir evidencias claras de que lo indicado ocurre, la mayoría de las evaluaciones efectuadas en el ambiente no son muy precisas ni objetivas, debido a la inadecuada identificación y evaluación de dichos procesos, y de las relaciones causa-efecto. Así, para lograr desarrollar, seleccionar y aplicar prácticas de uso y manejo de las tierras, que sean efectivas y sostenibles, se requerirá un *enfoque hidrológico* en la evaluación de los procesos de degradación de suelo y agua. Siendo entonces para Pla Sentis (2005) el principal objetivo evaluar los *procesos hidrológicos* pertinentes, y desarrollar metodología y técnicas para corregirlos o controlarlos bajo diferentes escenarios de suelo, clima, topografía y sistemas de uso o manejo.

En el ámbito científico y particularmente desde la visión de la Geografía Ambiental, es ampliamente reconocida la importancia de entender la interacción que existe en el subsistema

agua subterránea y agua superficial, así como su interacción con los sub-sistemas de vegetación, tipo de suelo, relieve y unidades geológicas involucradas (Tóth, 2000), visión que incorpora sub-sistemas que incluyen implicaciones sociales y económicas asociadas.

En el caso de zonas inundadas del noroeste bonaerense que han sido drásticamente afectadas, es necesario establecer alternativas para su recuperación productiva, lo que deberá armonizar con zonas que no han sido degradadas. Se estima que esto sólo puede ser establecido a partir de comprender cómo cada uno de los sub-sistemas se vinculan entre sí.

La alternancia de inundación y sequía, determina la posibilidad, y necesidad, de establecer estrategias de recuperación y manejo de zonas afectadas, que coadyuven a tomar ventaja de esta condición natural alternante. Para garantizar lo complementario de prácticas agropecuarias y forestales como recuperadoras de sitios inundados y control de futuras inundaciones, se requiere entender integralmente los procesos que inciden en la inundación. Esto posibilitará completar las tareas propuestas y definidas como “no estructurales” en el Plan Maestro (PMI, 1999) tales como: manejo de suelo, agua y vegetación. Existe necesidad ambiental y económica de definir los procesos que rigen el incremento de zonas inundadas en sectores topográficamente bajos, y usar ese funcionamiento para proponer soluciones técnicas viables, ambientalmente válidas, y que incorporen beneficios económicos, sociales y políticos.

El análisis conjunto en el presente proyecto de suelo-agua-planta dentro de la perspectiva del paisaje, permitirá definir sitios que se complementan en su manejo y, consecuentemente, el funcionamiento de un sitio que se vincula con otro a través del agua subterránea. La superficie freática y su comportamiento, define la intensidad de salinización y alcalinización de un sitio a partir de una condición climática, posición geomorfológica y cobertura vegetal. El estudio de imágenes satelitales apoya en la definición regional de zonas de recarga y descarga de agua subterránea que son en última instancia aquellas que determinan características del suelo, principalmente en relación con su grado de halomorfismo y en consecuencia, definirán la elección y sitios donde puedan ser implementadas prácticas agronómicas. Asimismo, esto permitirá trabajar aquellos sitios donde estas zonas sean más fácilmente reconocibles.

Se genera en este trabajo una propuesta metodológica para identificar zonas de recuperación y manejo de suelo degradado por inundación partiendo de definir como funciona el agua subterránea, y como ésta se vincula a otros elementos del paisaje, esto es generar una “*secuencias lógicas de intervención en el sitio desde el punto de vista físico, técnico, económico, social, desde una perspectiva ambiental*”.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1. Descripción del medio físico, zona bonaerense noroeste

2.1.1. Localización del área de estudio

Esta tesis se centra en la zona norte o de *Medanos Longitudinales* que junto con la zona sur o de *Medanos Parabólicos*, son las dos unidades geomorfológicas mayores que integran el área denominada *región noroeste* (6'600,000 ha) en la *provincia de Buenos Aires* (Figura 2.1), República Argentina (Figura 2.2). En la Figura 2.1, que es un mosaico de imágenes satelitales de la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, se destacan los sectores de médanos indicados, y dentro del sector de médanos longitudinales, el Complejo Lagunar Hinojo-Las Tunas, cuerpo de agua permanente más importante del área del presente estudio (PMI, 1999).

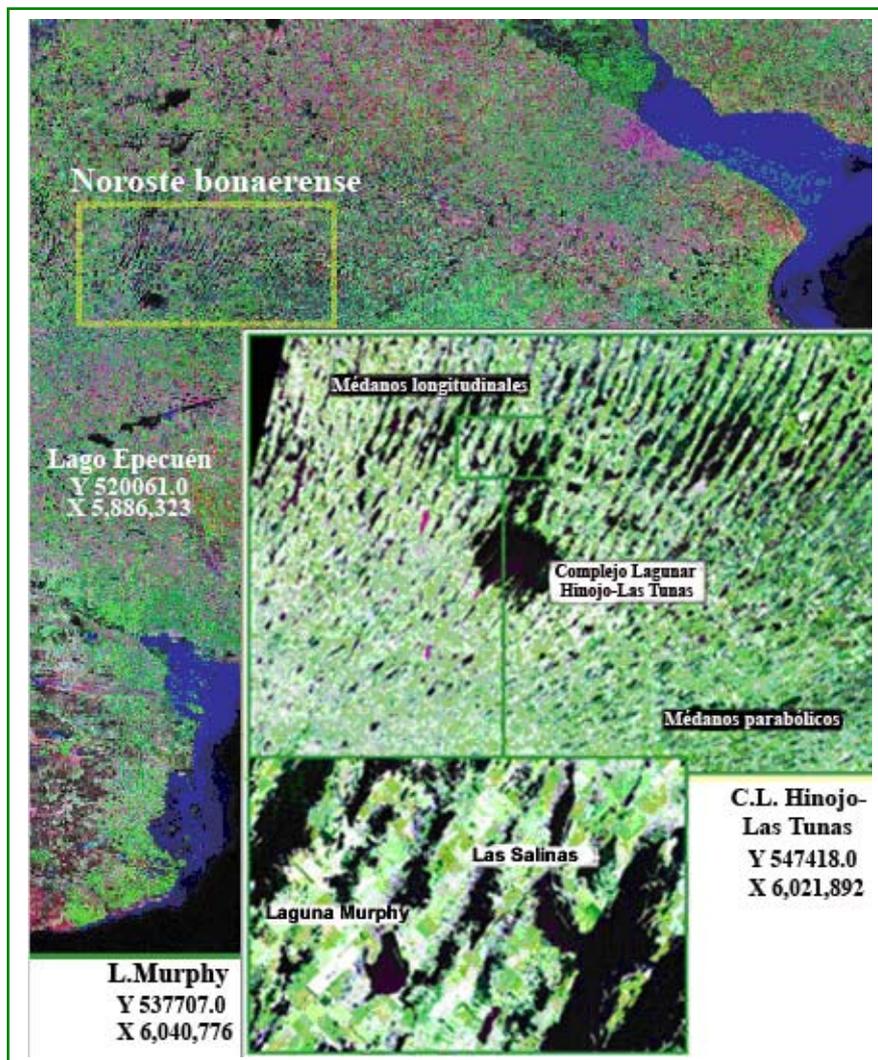


Figura 2.1 Mosaico de imágenes satelitales de Buenos Aires, se indica en la región del noroeste bonaerense la Zona de Médanos longitudinales (destacando en esta el Complejo Lagunar Hinojo-Las Tunas, y un detalle ampliado de la zona), y Zona de Médanos parabólicos. Coordenadas UTM en tres puntos: Lago Epecuén, C.L. Hinojo-Las Tunas, y Laguna Murphy.

La región del *noroeste bonaerense*, también conocida como *Pampa Arenosa*, se encuentra limitada al norte-noreste por el Río Salado, al sureste por el arroyo Vallimanca, y al sur por el sistema hidrológico de las lagunas las Encadenadas del Oeste. Así, la región del noroeste junto con las dos regiones hídricas básicas: *Salado-Vallimanca*, al sureste (9'900,000 ha), y *lagunas Encadenadas del Oeste*, al sur (1'100,000 ha), integran la denominada *Cuenca del Salado* que cubre una superficie total de 17'000,000 ha (170,000 km²). Estas regiones se indican en la Figura 2.2 (red hidrológica de la provincia de Buenos Aires) y en la Figura 2.3 que muestra la provincia de Buenos Aires y su ubicación a nivel país.

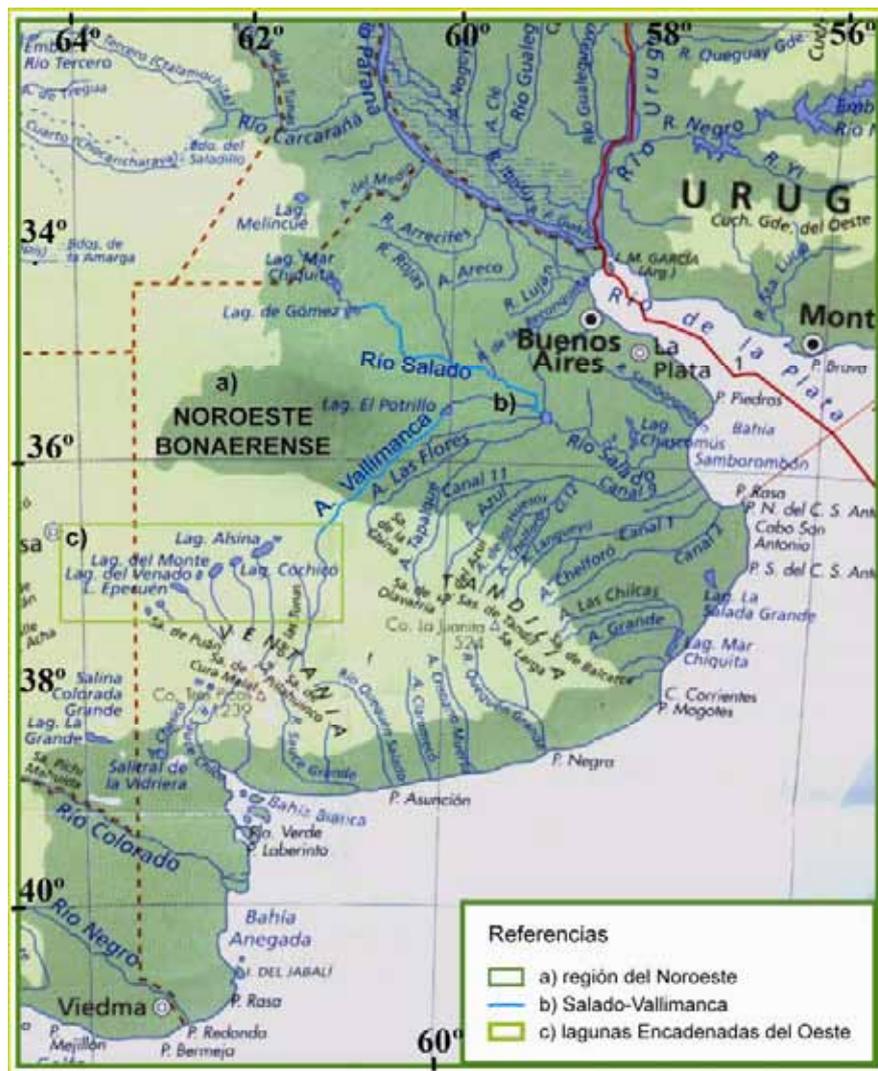


Figura 2.2 Mapa red hidrológica de la provincia de Buenos Aires con regiones que integran la Cuenca del Río Salado (mapa base extraído de www.mundocartografico.com).

Estas tres regiones, no están naturalmente conectadas al sistema del Río Salado, sino por canales construidos recientemente, denominados a lo largo de su trayecto como canal Jauretche-Mercante-República de Italia. Estos se inician en el Complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas (partido de Trenque Lauquen, TL), y continua por los partidos de Pehuajó, Pe; Carlos Casares, CC; 9 de Julio, NJ, y finaliza en la Laguna Municipal de Bragado y Río Salado (PMI, 1999) (detalle en Figura 2.3). Estos y otros partidos que se mencionan en esta tesis se presentan también en la Figura 2.25.

Asimismo, la Cuenca del Río Salado, puede recibir aporte de agua desde otras provincias tal como, el aporte potencial desde la Laguna La Picasa en Santa Fe, y Río Quinto en San Luis y Córdoba (PMI, 1999), donde también se ha efectuado la construcción de canales que conectan bajos entre estas provincias (Obra Cuenca la Picasa, que involucra cuatro provincias en el referente del Plan Federal de Control de Inundaciones-Área Pampeana Central). En la Figura 2.3 se indica la ubicación de estas provincias, así como las provincias que tienen a priori incidencia en el funcionamiento hidrogeológico de la provincia de Buenos Aires.

La *República Argentina* se halla ubicada geográficamente en el Hemisferio Sur. La superficie del país es de 3'761,274 km² de los cuales 2'791,810 km² corresponden al continente americano; y los restantes 969.464 km² pertenecen al continente antártico (incluyendo las islas Orcadas del Sur e islas australes: Sandwich del Sur y Georgias del Sur). El país limita a través de unos 9,000 kilómetros de frontera, al oeste con la República de Chile, al norte con las Repúblicas de Bolivia y Paraguay, al noreste con la República Federativa del Brasil y al este con la República Oriental del Uruguay (Castaldo, 2003). La Argentina, y Chile, tienen su frontera en la Cordillera de los Andes, desde la cual se presenta una secuencia de alturas y ambientes desde la Provincia de Mendoza (alturas máximas de 6,959m snm) hasta el océano Atlántico (Figura 2.3).

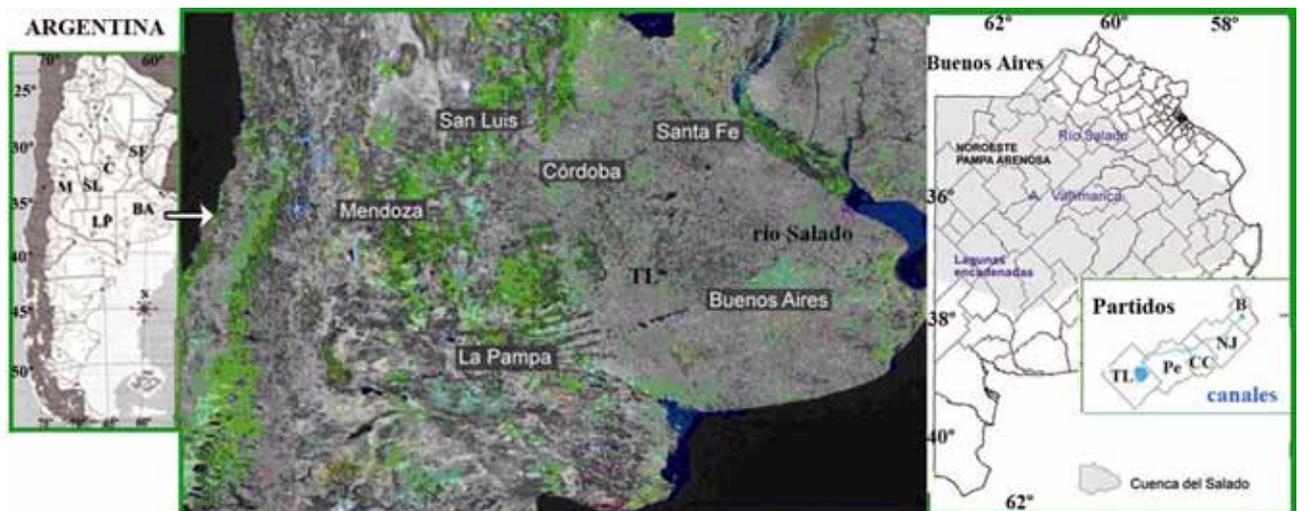


Figura 2.3 Ubicación del noroeste bonaerense (Pampa Arenosa), en la Cuenca del Río Salado, provincia de Buenos Aires, y provincias vecinas hasta la Cordillera de los Andes, Argentina. En Mapa de Argentina, y mosaico de imágenes satelitales, se indican provincias: Mendoza, M; San Luis, SL; Córdoba, C; La Pampa, LP, Santa Fe, SF. En mapa de la provincia de Buenos Aires, se indica en el detalle los canales construidos entre los partidos de Trenque Lauquen, TL; Pehuajó, Pe; Carlos Casares, CC; 9 de Julio, NJ; y Bragado, B.

En la Figura 2.4 se presentan las regiones naturales de la Argentina. El área de estudio forma parte de una planicie de mayor extensión que se denomina *Llanura Pampeana* o *Pampa Húmeda* (1'000,000 km²) caracterizada por su amplia distribución geográfica y su escasa pendiente. Tal como se aprecia en Figura 2.4, dentro de la *Pampa Húmeda*, se incluyen además de la provincia de Buenos Aires, parte de las provincias de Santa Fe, Córdoba, y una pequeña porción de La Pampa. Las restantes provincias, Mendoza, San Luis y La Pampa, se ubican en su mayor parte en la región natural de la *Pampa Seca*.

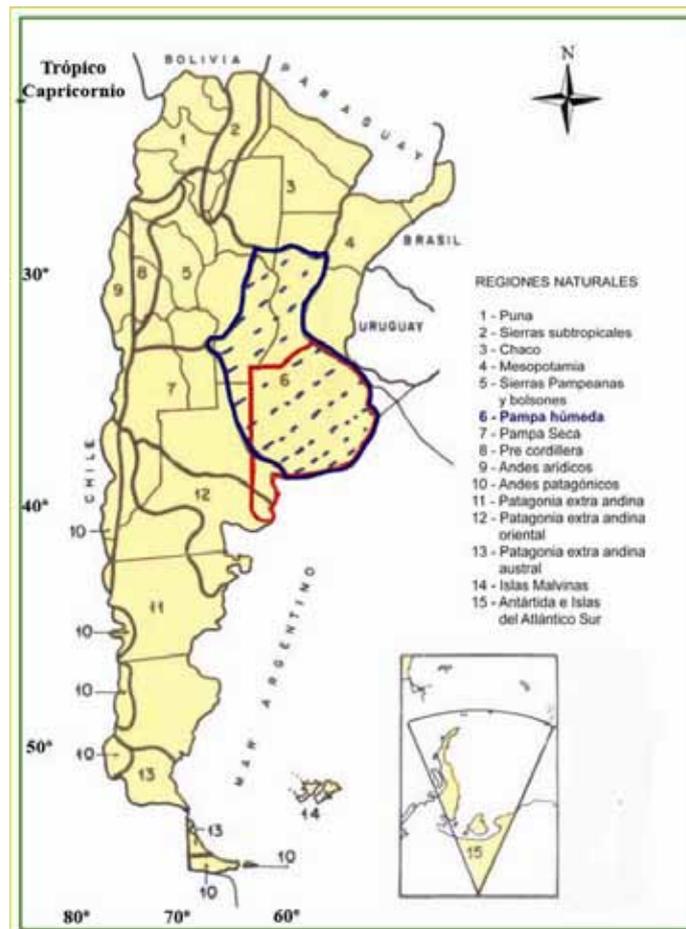


Figura 2.4 Regiones naturales de la República Argentina, se destaca la Llanura Pampeana o Pampa Húmeda (extraída de INTA, 1990).

Neiff *et al.* (2003) presenta la división por *eco-regiones* de la República Argentina, que es de mayor detalle que la presentada precedentemente, ya que incluye otros elementos del paisaje (Figura 2.5). Estos autores definen *eco-región*, al área ecológica relativamente homogénea definidas por la similitud de clima, relieve, suelo, vegetación, hidrología u otra variable ecológicamente relevante.

Asimismo, en la Figura 2.5, se indican las dos áreas consideradas en el presente estudio:

a) provincia de Buenos Aires, destacando principales partidos analizados dentro del noroeste bonaerense, y b) provincias comprendidas entre la Cordillera de los Andes y Buenos Aires (entre la eco-región 1, *Altos Andes*; y la eco-región 12, *Pampa*).

Se trabaja entonces con dos *escalas de análisis*, **local y regional**. El trabajo con mayor detalle se realizó en los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen, y en forma general, en otros vecinos vinculados a priori hidrogeológicamente (Carlos Casares, 9 de Julio), todos pertenecientes a la región del noroeste bonaerense, y se extrajeron además, muestras de agua de algunas lagunas que podrían también vincularse hidrogeológicamente con la región del noroeste, las Encadenadas del Oeste (partidos, Guaminí y Carhué), y Lagunas de Gómez y Mar Chiquita al norte, en el partido de Junín) (Figura 2.2, y 2. . En lo regional se analizan las provincias indicadas en la Figura 2.5, efectuando en estas mediciones en forma expeditiva y revisión bibliográfica principalmente en las provincias de Mendoza, San Luis.

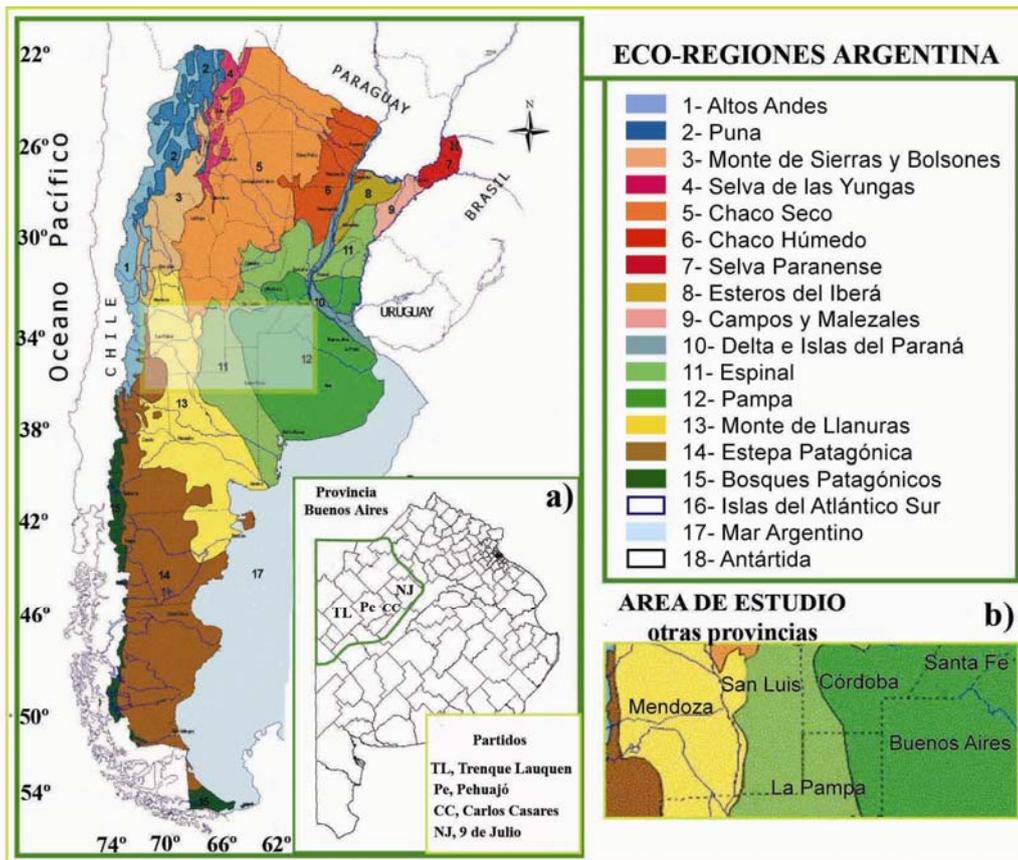


Figura 2.5 Eco-regiones de la República Argentina (extraída de Neiff *et al.*, 2003)
a) noroeste bonaerense, principales partidos estudiados, y b) provincias entre Cordillera de los Andes, Buenos Aires.

2.1.2. Características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de la región

El relieve bonaerense, a pesar de su aparente uniformidad, sólo interrumpida por los cordones serranos de Tandilia y Ventania, sintetiza en sus formas una historia geológica compleja, que se manifiesta en un conjunto variado de geformas de origen diverso y edades, desde morfologías longevas en los sistemas serranos anteriores al Cenozoico hasta otras del Holoceno tardío (Zárate y Rabanesse, 2005).

La provincia de Buenos Aires, es parte de la llanura pampeana, una extensa planicie que se encuentra por debajo de los 100m snm (Figura 2.6, mapa altimétrico de la Argentina) apoyada sobre el basamento de rocas cristalinas de la era Precámbrica, que aflora a la superficie hacia el sur del área de estudio en los sistemas de Tandilia y Ventania (500 y 1,100m snm), y hacia el norte queda progresivamente enterrado por distintas unidades de sedimentos más jóvenes cuyo espesor es variable según el sitio entre 2km (localidad de Maipú) y 6km (Localidad de Lavalle) (PMI, 1999). Por debajo de la planicie subyace un sistema de fallas con dirección noroeste sudeste a lo largo de un eje que une aproximadamente Junín con Maipú y que separa la suave pendiente del basamento rocoso, no existiendo líneas de falla en dirección sudoeste-noreste (PMI, 1999).

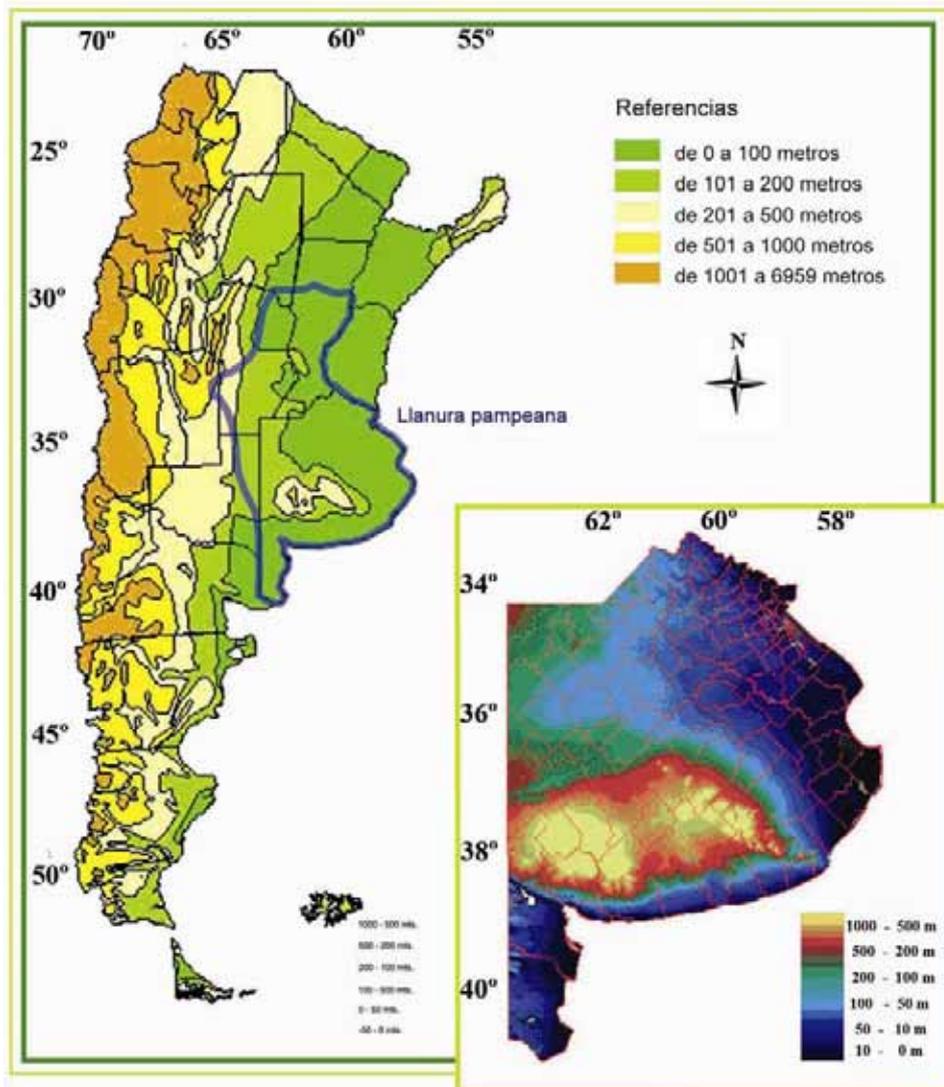


Figura 2.6 Mapa altimétrico de la Argentina, y provincia de Buenos Aires. (extraídos de www.visitingargentina.com.ar/mapas, y de RIAP 2007, respectivamente)

La **Cuenca del Río Salado** incluye tres territorios hídricos básicos, Salado-Vallimanca, **Noroeste**, y Lagunas Encadenadas del Oeste (Figura 2.2, y 2.3). La red fluvial representa un relieve ondulado dividido por arroyos y cañadas menores, el avenamiento es de tipo paralelo, y su análisis permite proponer que existe un efecto de la tectónica Cuaternaria.

El principal curso de la cuenca, constituido por el *Río Salado*, ha sido conformado por la naturaleza con un bajo aporte de agua, siendo el caudal de mayor permanencia menor a $100\text{m}^3/\text{s}$. Esto sumado al hecho de que los territorios **Noroeste**, y lagunas Encadenadas del Oeste, se vinculan con la Cuenca del Río Salado por acción antrópica reciente, debido a la construcción de canales (Figura 2.3), se condiciona fuertemente la capacidad de conducción que el curso ha desarrollado a través del tiempo, por lo cual ante eventos importantes en la Cuenca, el Río Salado se ve totalmente desbordado e incapaz de conducir eficientemente hacia el mar, los excedentes de agua que le aporta la cuenca (Zárate y Rosa, 2003). En la Figura 2.3, se presentó los tres sectores principales del canal que conecta el complejo lagunar Hinojo-Las Tunas con la localidad de Bragado, cercana al nacimiento del Río Salado.

El **Noroste Bonaerense**, es una gran planicie con escasa pendiente regional oeste-este de 0.25°/oo en promedio y relieve poco marcado, lo cual unido al material arenoso de los depósitos que la cubren, determinan una escasa a nula escorrentía (Iacobucci, 2000). Los valores de la pendiente son entre 0.08 y 0.3°/oo (Dillon *et al.*, 1987).

Específicamente, la *región noroeste*, según la zonación sobre los ecosistemas realizada por Gabellone *et al.* (2003) se ubica dentro de la **Cuenca del Salado**, en la sub-región IV Pampa Interior, y dentro de ésta en la **Pampa Arenosa** (Figura 2.7), uno de los ocho ambientes naturales en que ha sido dividida la provincia de Buenos Aires (MAA, 2007).

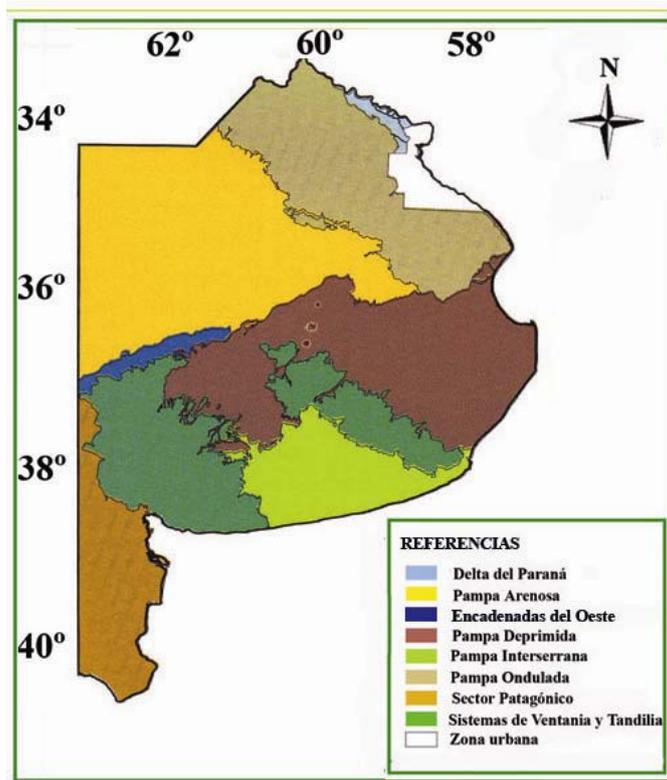


Figura 2.7 Ambientes de la provincia de Buenos Aires (adaptada de MAA, 2007)

Posee una superficie de 5'500,000ha con aproximadamente 20,000ha de cuerpos de agua distribuidos en una geomorfología relativamente homogénea, dominada por dunas longitudinales (3'800,000ha) y parabólicas (1'700,000ha), y con gran cantidad de lagunas interdunas, entre las que se destacan el sistema de Hinojo-Las Tunas (Figura 2.8). Se encuentra limitada al norte-noreste por el Río Salado, al sureste por el Arroyo Vallimanca, y al sur por el sistema hidrológico de las lagunas las Encadenadas (Figura 2.2 y 2.3) (PMI, 1999; Gabellone *et al.*, 2003).

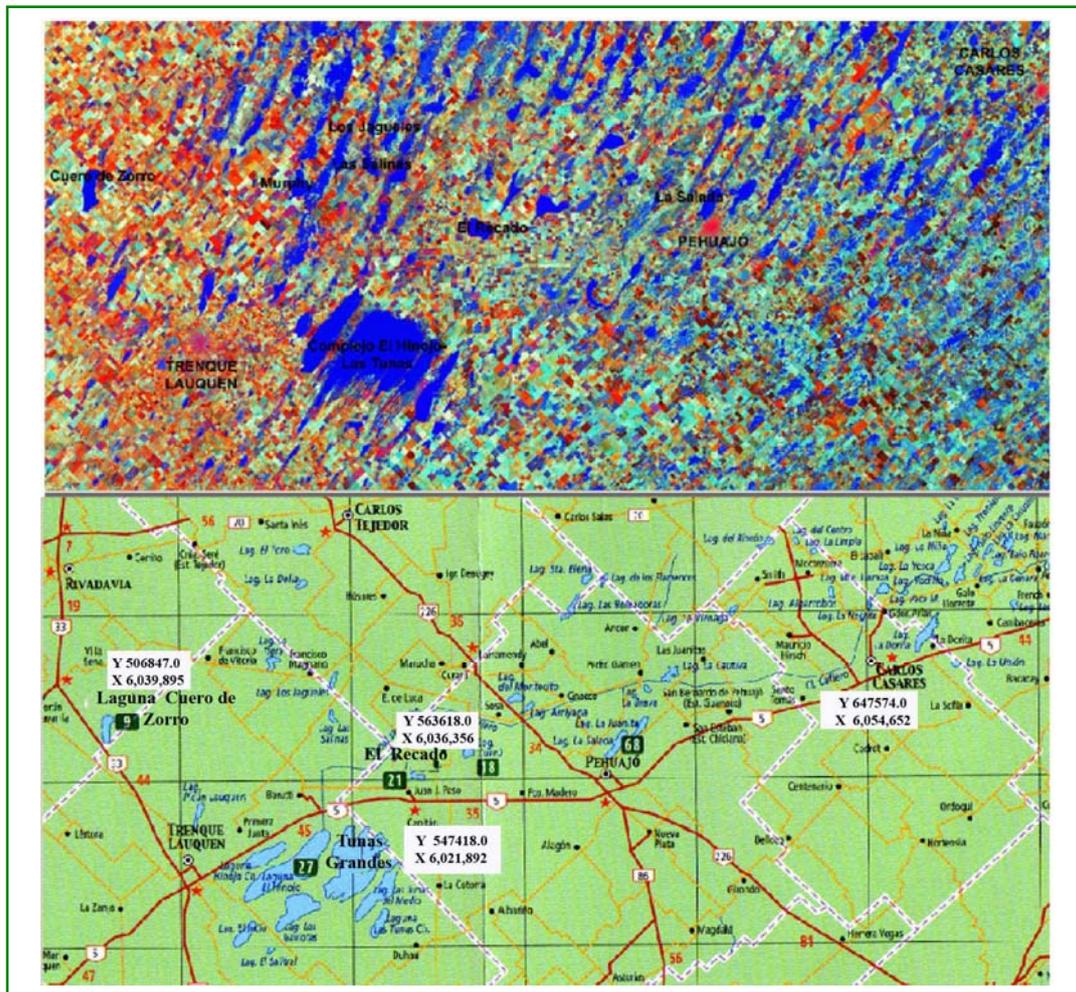


Figura 2.8 Lagunas y ciudades principales del área de estudio.

Coordenadas UTM de Laguna Cuero de Zorro, Laguna Tunas Grandes dentro del Complejo Hinojo-Las Tunas, Laguna El Recado, y ciudad de Carlos Casares.

2.1.2.1. Geomorfología

Evolución de principales geoformas

Zárate y Rabanese (2005) presentan una historia de cómo se desarrollaron los elementos geomorfológicos del relieve bonaerense. Estos autores indican que las geoformas mayores del relieve son una manifestación superficial del subsuelo y su historia geológica, iniciada en algún momento del Mesozoico (Jurásico tardío-Cretácico), atenuada y enmascarada por procesos geomorfológicos muy recientes del Pleistoceno tardío-Holoceno. Las estructuras geológicas del basamento no sólo han controlado los rasgos más sobresalientes del relieve, sino que condicionaron la acción de los procesos sedimentarios y geomorfológicos. El relieve en conjunto es la resultante de procesos que han actuado en distintas escalas temporal y espacial dando como resultado un relieve multicíclico con superposición de rasgos geomorfológicos diferentes. Las formas de expresión más clara se generaron durante el último ciclo de glaciación y interglaciación, en cuyo transcurso los cambios climáticos y ambientales dieron lugar a la alternancia de condiciones que favorecieron procesos eólicos, fluviales y de estabilidad (desarrollo de suelos), debiéndose sumar a esto las profundas modificaciones de los últimos 150 años

resultado de la agricultura, ganadería, obras hidráulicas, que aceleran procesos erosivos, de transporte de sedimentos y de acumulación de los mismos.

En la Figura 2.9 se presenta un perfil geotectónico de la transecta oeste bonaerense y Río de La Plata, donde se aprecia la distribución de materiales en las diferentes eras geológicas (Mugni, 1998) y en Figura 2.10 se presenta un bosquejo geológico de la provincia de Buenos Aires donde se muestra la distribución de unidades sedimentarias sobre el basamento hidrogeológico, y se destaca el sector correspondiente al noroeste bonaerense (Yrigoyen, 1975).

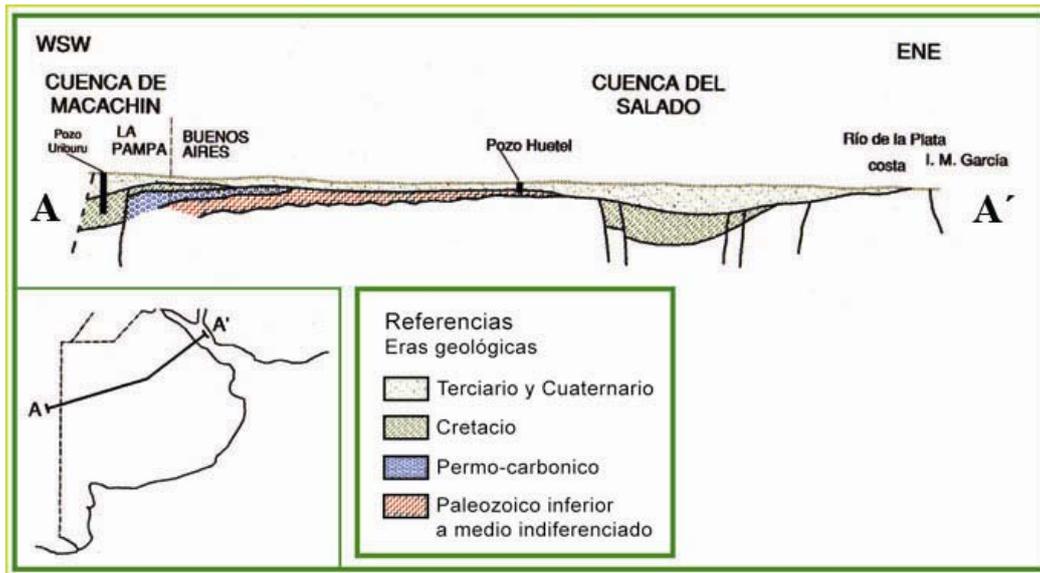


Figura 2.9 Perfil geotectónico de la transecta oeste bonaerense y Río de La Plata (extraída de Mugni, 1998)

En la **Región del Noroeste Bonaerense**, se identifican dos sectores bien definidos: Zona Norte o de médanos longitudinales, y Zona Sur o de dunas parabólicas (Figura 2.1). La **Zona de Médanos Longitudinales** abarca aproximadamente una superficie de 3'800,000 ha, y presenta un relieve en equilibrio con condiciones semiáridas, afectado por la alternancias de ciclos secos y húmedos. Los excesos hídricos en superficie son una consecuencia de la pérdida de equilibrio entre este relieve ajustado a condiciones climáticas semiáridas, y las nuevas condiciones meteorológicas, caracterizadas por mayor precipitación que define un clima actual de tipo subhúmedo-húmedo (Dillon *et al.*, 1987; Giménez *et al.*, 1990).

Hurtado *et al.* (2005), indican que la génesis de los médanos longitudinales tiene variadas interpretaciones, citan autores que revelan que se formaron por acción de un anticiclón ubicado a varios kilómetros al oeste de la formación estudiada, que generó vientos continuos con dirección constante en época seca y sin cobertura vegetal, actuando sobre sedimentos de textura gruesa, mientras que otros autores indican que se formaron por vientos bi-direccionales durante el Pleistoceno. En el análisis geomorfológico que se presenta en el Informe final del PMI (1999) se indica también que existe cierta disparidad en la literatura en lo que respecta a la evolución geomorfológica del relieve y red de avenamiento de la región, no obstante, a partir de estudio en imágenes satelitales y observaciones de campo Malagnino (1988) interpreta que se correspondía con dichas observaciones.

Fidalgo (1983 en PMI, 1999), indica que los principales rasgos del relieve fueron formados en condiciones áridas durante el *Pleistoceno Medio* cuando las dunas fueron depositadas y las depresiones se originan por la acción deflacionaria del viento. Este mismo autor indica que

fueron progresivamente llenadas por agua durante épocas más húmedas y vinculadas por cursos de agua dando lugar al aspecto que hoy en día tiene la red de avenamiento; agrega que el Río Salado se originó por unión de una serie de lagunas formadas en las cuencas de deflación.

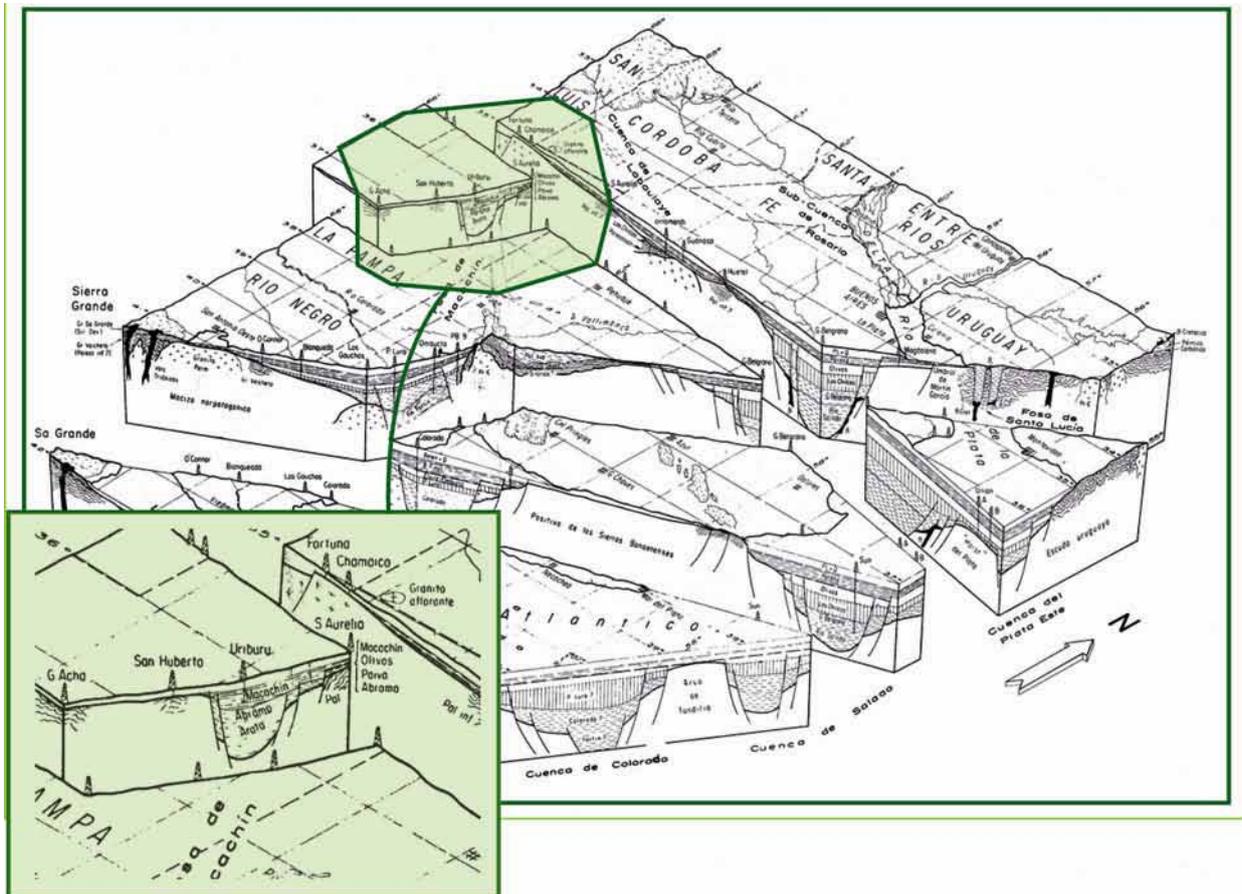


Figura 2.10 Bosquejo geológico de la provincia de Buenos Aires, unidades sedimentarias sobre basamento hidrogeológico, destacándose al noroeste bonaerense (extraída de Yrigoyen, 1975)

Malagnino (1988), incluyó una importante porción de las provincias de San Luis y La Pampa para explicar la evolución histórica del sistema fluvial del territorio (Figura 2.11). Respecto al Río Salado, indica que tampoco está ajustado a las condiciones climáticas actuales, y sugiere que la ubicación geográfica actual fue inicialmente el sitio de emplazamiento de un curso que era alimentado por descarga de los glaciares localizados en la cadena andina (sistema alóctono, debido a que proviene de otro sitio) convirtiéndose en autóctono en eras posteriores.

Malagnino (1988, 1989) discrepó entonces con la visión de Fidalgo (1983 en PMI, 1999) en el origen del Río Salado, indicando que se originó con anterioridad a la aparición de la época eólica responsable de la formación de las dunas y cuencas de deflación, y que éstas últimas, fueron sobrepuestas sobre un sistema más antiguo de origen fluvial, durante un período en el cual estos cursos quedaron secos y la región fue sometida a un régimen climático árido. Igualmente, en relación con los médanos, Malagnino (1988) indica que este campo de dunas se desplazó sobre un antiguo sistema de avenamiento que tenía secciones superiores al oeste y noroeste del área de estudio. Así, este último autor, reconstruye la historia de cambios climáticos como los responsables del impulso de los procesos geomorfológicos que dieron lugar a las unidades principales del relieve, y a los sistemas fluviales del territorio durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, comprendiendo un período cálido y húmedo seguido por un período frío y seco. Durante el *primer período, cálido y húmedo*, la escorrentía (incluyendo

aquella proveniente de los ríos que llegaban desde los Andes (tal como el Río Colorado), inicialmente cortaron profundos valles en los depósitos pampeanos. En el *segundo período, frío y seco*, el agua de fusión de los glaciares cordilleranos se encauzó en los valles precedentes y los ensanchó. La aluviación relacionada con este sistema fluvial, está representada en los niveles de la base de la Formación Luján que se indican en el punto siguiente. Por último, y con posterioridad al desplazamiento del Río Colorado hacia el sur de la provincia de Buenos Aires, los valles abandonados sufrieron la deflación de sus planicies aluviales. De esta forma sus elementos clásticos arenosos pasaron a formar dunas que se desplazaron sobre el terreno sepultándolo los valles preexistentes, esto, durante un nuevo período frío y de extrema aridez.

En el límite entre las provincias de La Pampa y Buenos Aires, en las imágenes satelitales (Figura 2.3) se aprecian prominentes y alargadas depresiones con orientación oeste-noroeste indicadas por Malagnino (1988) (Figura 2.11). Estas depresiones (valles) están en la actualidad enterradas por debajo del campo de dunas del noroeste, con excepción del denominado Valle Austral que permanece alineado con la dirección del sistema endorreico del Oeste (Encadenadas) y el eje del sistema Vallimanca-Saladillo (Valle Austral) (Figura 2.2). Estas depresiones fueron comúnmente interpretadas como de origen tectónico, pero este autor las interpreta como de origen fluvial, proponiendo que establecen el antiguo curso del Río Colorado, que actualmente cruza por el sur de la provincia de Buenos Aires.

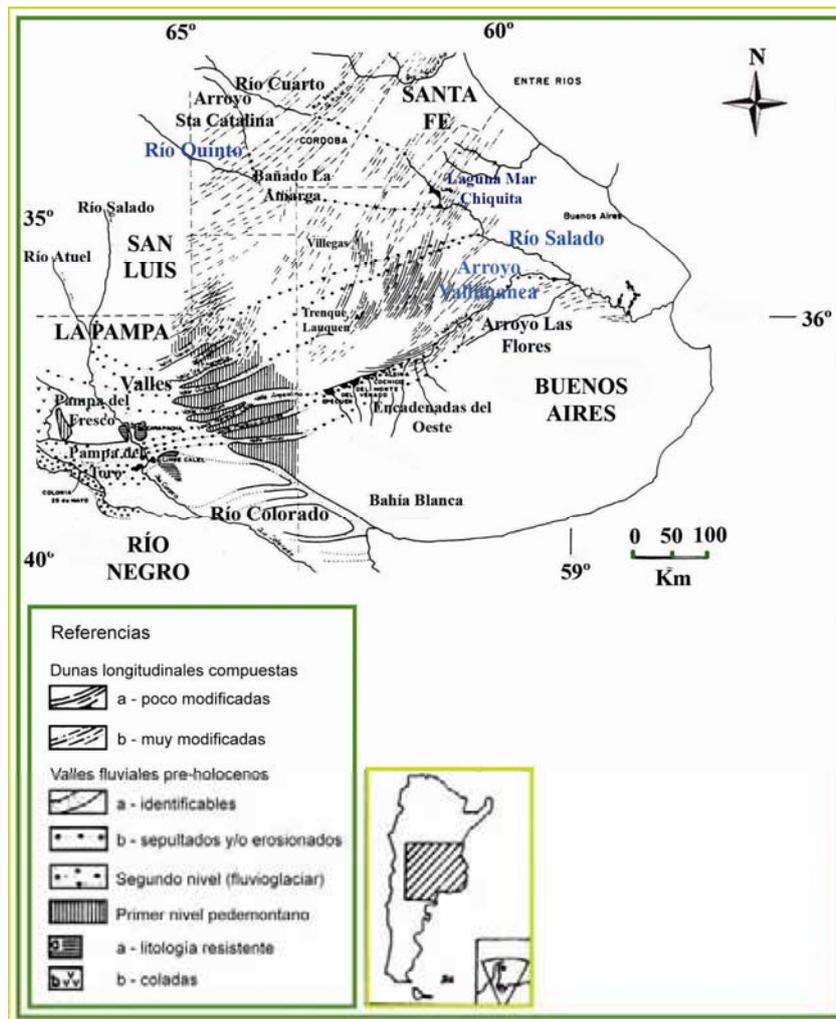


Figura 2.11 Evolución histórica del sistema fluvial del territorio (extraída de Malagnino, 1988)

Avance en la descripción geomorfológica

Zárate y Rabanesse (2005) realizan una síntesis del estado de conocimiento del relieve bonaerense, señalando que los criterios para clasificarlo no han sido sólo geomorfológicos, particularmente avenamiento, sino fisiográficos, geológicos, paisajísticos y por fisonomía vegetal. De un análisis comparativo, encuentran coincidencias generales en el reconocimiento de sectores con atributos geológicos y fisiográficos; sin embargo, no hay acuerdo en la categoría atribuida y denominación. De trabajos existentes destaca la división por provincias geológicas de Rolleri (1975) a partir de bases dadas por Tapia (1937) y Frenguelli (1950) (autores citados en Rolleri, 1975) (Figura 2.12, extraída de Mugni, 1998). El área de estudio, según este criterio, se ubica en la provincia geológica 1, denominada Chaco Pampeana, lo cual muestra claramente que toda el área actualmente considerada como Cuenca del Río Salado es debida a la conexión mediante canales con el noroeste bonaerense (Figura 2.3), tal como se analizó en punto 2.1.1.

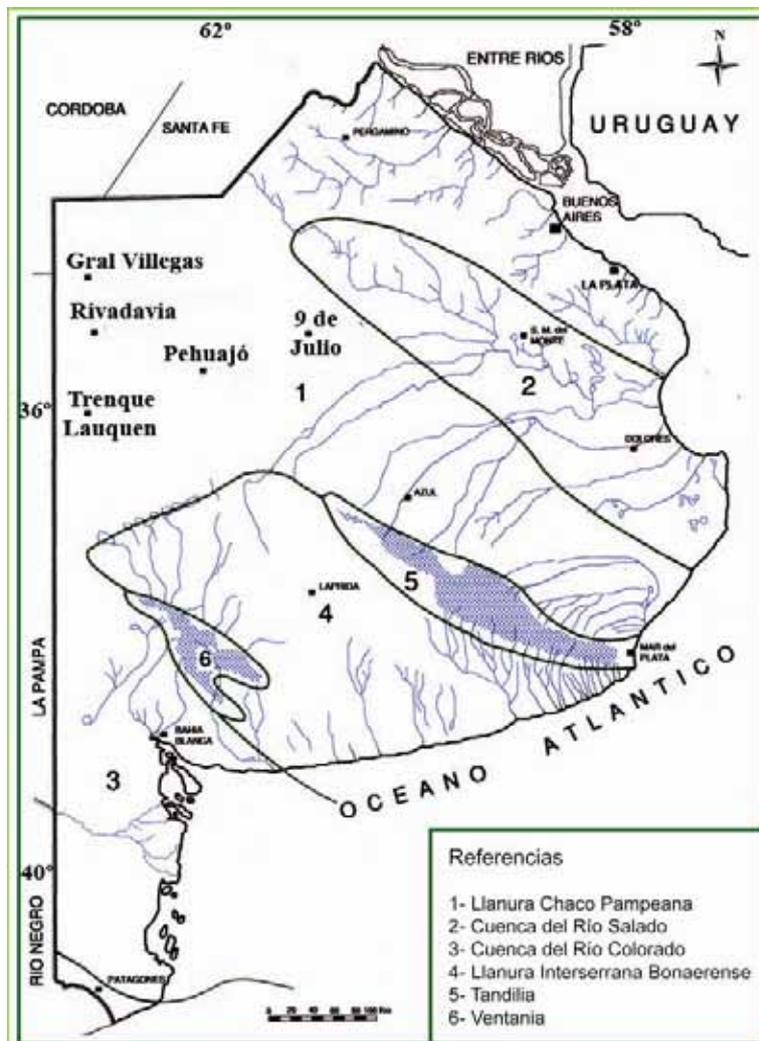


Figura 2.12 Provincias geológicas de la provincia de Buenos Aires (extraída de Rolleri, 1975 en Mugni, 1998)

Asimismo, se destaca la división presentada en el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA, 1989) en el cual se reconoce la existencia de siete unidades geomorfológicas (Figura 2.13) basadas en evolución del material original, topografía actual y red de avenamiento, atributos que en conjunto definen el tipo y distribución del suelo. El área del

presente estudio se encuentra en las **llanuras continentales**, que se subdividen de acuerdo con el relieve y espesor de la cubierta eólica, esta categoría abarca todas las “pampas” identificadas en trabajos previos. En este caso, esta unidad presenta una división por dominios edáficos, los cuales se identifican en la Figura 2.13 por números, tal como se analiza posteriormente, el presente trabajo se ubica principalmente en los dominios 16 y 17.

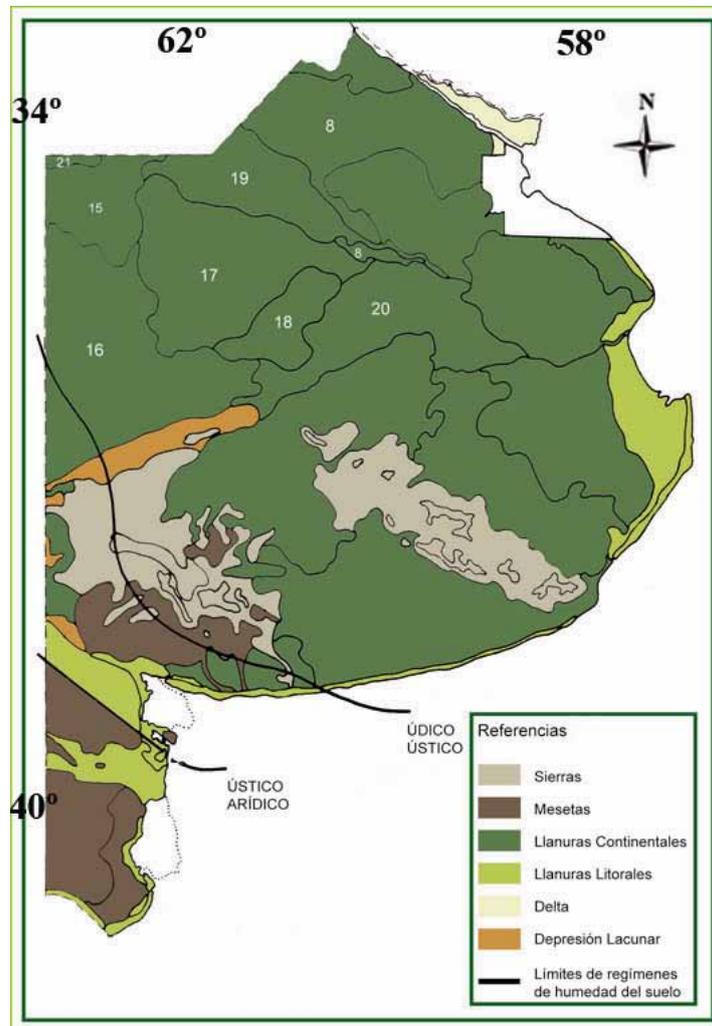


Figura 2.13 Unidades geomorfológicas de la provincia de Buenos Aires (extraída de SAGyP-INTA, 1989)

Zárate y Rabanesse (2005) presentan para la provincia de Buenos Aires los siguientes elementos morfoestructurales: Positivo bonaerense, Cuenca tectónica del Salado, Cuenca tectónica del Colorado, Cuenca de Laboulaye, y Cuenca de Macachín. El sector de estudio, se ubica en la Cuenca tectónica del Salado, esta abarca el centro-norte de la provincia e incluye al menos parcialmente, las denominadas pampas: Deprimida, Arenosa, y Ondulada, y la franja más occidental de la provincia parcialmente en el ámbito de las Cuencas Tectónicas de Macachín y Laboulaye (Figura 2.14).

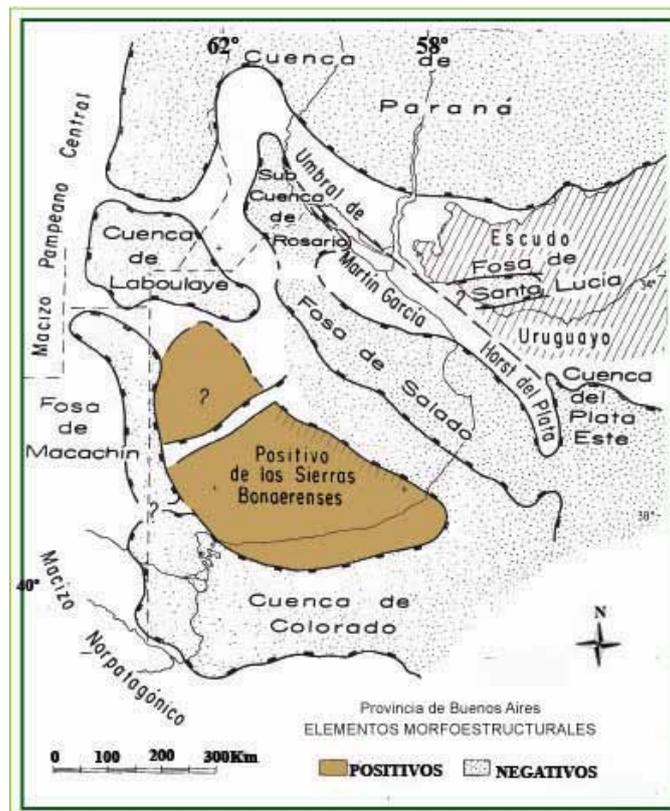


Figura 2.14 Cuencas tectónicas de Buenos Aires, La Pampa y Córdoba (extraída de Zárate y Rabanesse, 2005)

A continuación se presenta la división presentada de la Cuenca del Río Salado por el PMI (1999). Se delimitaron 14 sub-unidades Geomorfológicas, las características de la sub-unidad **Zona de Médanos Longitudinales** se describen a continuación.

En esta unidad geomorfológica de Médanos Longitudinales se reconocen formas fluviales, eólicas y lagunares.

Formas fluviales, la región noroeste no posee una red de avenamiento y su densidad de avenamiento es nula, lo cual refleja una historia geomorfológica del relieve durante la cual los procesos eólicos han dominado totalmente a los procesos fluviales. Hasta la fecha, la precipitación ha sido insuficiente como para generar escorrentía superficial de importancia geomorfológica. En la situación actual, de clima más húmedo, se genera en forma frecuente situaciones de anegamiento y de inundación superficial, donde la escorrentía que se genera está controlada por la topografía del área. Así, la *escorrentía en manto* (en la región se denomina así a la *escorrentía extendida provocada por la carga de agua superficial que se generada por muy baja a nula infiltración, y escasa pendiente*) por las inter-dunas, se detiene en las dunas parabólicas presentes al sur de los médanos longitudinales. No obstante de continuar la situación de excedentes se supera la barrera de las dunas parabólicas generándose una situación de escorrentía generalizada a lo largo de las inter-dunas (PMI 1999). Es posible entonces que se desarrolle un sistema de avenamiento de agua superficial mediante la socavación y colapso periódico del suelo en las depresiones de las dunas debido a la disolución química de materiales calcáreos (donde existan) por debajo de la arena. Es probable que este proceso sea lento, aunque se podría acelerar bajo condiciones de lluvia en exceso con respecto a la evapotranspiración y escorrentía sub-superficial concentrada a lo largo de recorridos preferenciales.

Actualmente, una gran parte del área avana internamente hacia el complejo de lagunar Hinojo-Las Tunas, no obstante, luego de la construcción del sistema de canales Jauretche-Mercante-Italia parte de la escorrentía es derivada hacia el sistema fluvial del Río Salado, próximo a la ciudad de Bragado (Figura 2.3).

Formas eólicas, la *sub-región de Médanos longitudinales*, se caracteriza por tener médanos longitudinales, que son antiguos sistemas de acumulación medanosa lineal (arena y limo) de probable edad Pleistoceno Superior, con longitud, ancho y altura aproximadas de unos 100 km, 2-5 km y 6 m, respectivamente, estabilizadas por la vegetación que se desarrollan en forma paralela a sub-paralela, y en forma de arco, con sentido suroeste-norte. El conjunto genera un sistema sumamente complejo y laberíntico. Cuando las crestas se disponen en secuencias paralelas, ordenadas y poco perturbadas, se puede determinar un espaciamiento del orden de los 3 a 4 km. Entre los cordones de médanos, se presentan zonas inter-médanos de relieve plano a plano-cóncavo de 0.5 a 5 km de ancho. La altura y forma original de las formaciones antiguas medanosas se han suavizado por la acción del viento, y se presentan actualmente como geoformas aplanadas que no tienen expresión topográfica destacada (Dillon *et al.*, 1985; Giménez *et al.*, 1990; Cabral *et al.*, 1996; Iacobucci, 2000).

En este sistema de geoformas mayores, se superponen otras geoformas menores tales como: **médanos, mantos, mantos someros, depresiones inter-medanos, y cubetas de deflación**, mencionadas estas de mayor a menor posición topográfica (Dillon *et al.*, 1985; Giménez *et al.*, 1990; Cabral *et al.*, 1996). En las siguientes imágenes se aprecia el relieve de médanos y se distinguen algunas de las geoformas descritas en la región del noroeste, en la localidad de Trenque Lauque: Figura 2.15 médanos de ambientes elevados en Mari-Lauquen, con suelo *Hapludol éntico* y *Udipsament típico* (entre cotas 100-110m snm), y Figura 2.16 médanos en ambientes más bajos, en Berutti (aproximadamente 90m snm) donde además se reconocen otras geoformas: Figura 2.16a, ambiente de médano, manto, manto somero y depresión inter-medanosa, y Figura 2.16b límite entre mantos y mantos someros con diferente vegetación (el límite indica el sitio hasta donde llegó el agua de inundación).



Figura 2.15 Médanos de ambientes elevados en Mari-Lauquen, Trenque Lauquen



Figura 2.16a Ambiente de médano, manto, manto somero y depresión inter-medanosa.



Figura 2.16b Límite entre mantos y mantos someros con diferente vegetación

Figura 2.16 Médanos de ambientes más bajos, en Berutti (90m snm) y geoformas asociadas

Estas geoformas de los sectores más bajos se constituyen así en importantes reservorios de agua superficial, y dan origen a cuerpos lagunares de diferente dimensión, permanentes y transitorios que ocupan principalmente las antiguas **cubetas de deflación**. En la Figura 2.17, se presenta la Laguna de Murphy, que es una antigua laguna de una cubeta de deflación, la cual claramente se identifica en las imágenes satelitales (Figura 2.1). Estas son alimentadas por

aporte pluvial y afluencia de agua subterránea, que en época de lluvia se eleva cerca de la superficie, secándose en períodos de estiaje prolongado (Cabral *et al.*, 1996).

Hacia el sur de esta región de Médanos longitudinales, se ubica otro tipo de dunas de menor desarrollo, más recientes y sobrepuestas a las dunas longitudinales compuestas, son las denominadas *Dunas o Médanos parabólicos*, probablemente del Holoceno. Estas dunas parabólicas, se manifiestan como crestas curvilíneas de escala media a grande que cruzan en forma oblicua al sistema previo de dunas longitudinales y lo modifican parcialmente. Cuando están situadas en una cresta de duna longitudinal pueden llegar a seccionarla conectando así a dos ambientes inter-dunales adyacentes. Hacia el sur, en la zona de la sub-unidad Zona de Dunas parabólicas, no analizada en esta presentación, la modificación es muy severa y se pierde el patrón de las dunas longitudinales. El complejo de lagunas Las Tunas-Hinojo se formó por varias dunas de este tipo sobrepuestas al campo de dunas longitudinales (PMI, 1999) (Figura 2.8).

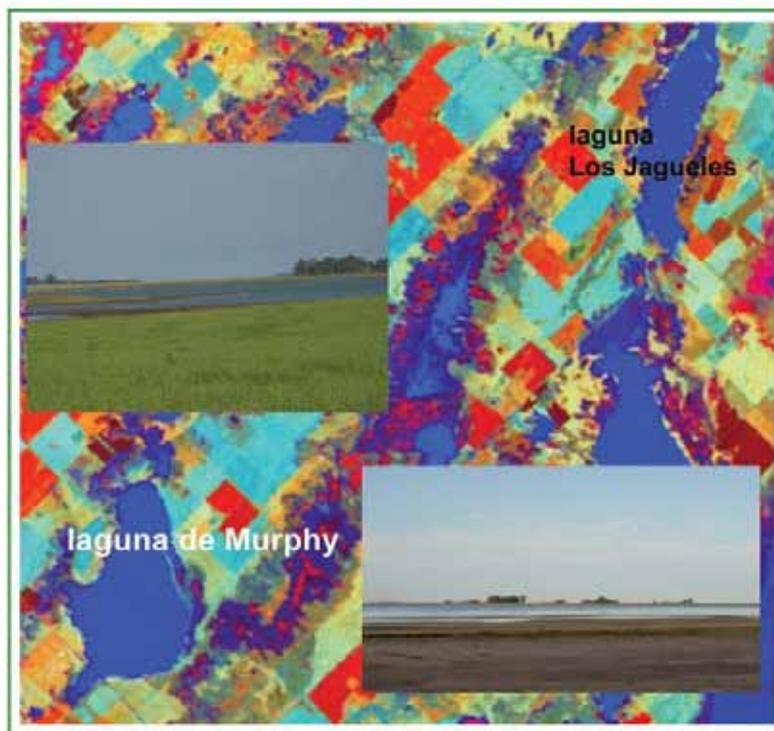


Figura 2.17 Laguna de Murphy, antigua cubeta de deflación.
Coordenadas UTM Y 537707.0 X 6,040,776

Formas Lagunares, como se indicó las lagunas que se observan en esta zona se relacionan en la mayoría de los casos con anegamiento de ambiente inter-dunal de médanos longitudinales, y antiguas cubetas de deflación. Para la Pampa Arenosa, se indica la existencia de aproximadamente 20,000ha de cuerpos de agua distribuidos en una geomorfología relativamente homogénea, dominada por dunas longitudinales y parabólicas, y con gran cantidad de lagunas inter-dunas, entre las que se destacan el sistema de Hinojo-Las Tunas. En general el patrón lagunar se caracteriza por formas alargadas que se disponen paralelamente a un rumbo noreste. Sin embargo, a medida que se incrementa la magnitud de la superficie inundada, el diseño va cambiando al interconectarse lateralmente cada laguna inicialmente aislada. En Figura 2.18 se presenta en color azul las lagunas de toda la Cuenca del Río Salado, y se indican con números (1 a 11) las más importantes lagunas permanentes ubicadas en el noroeste bonaerense, asimismo, se presenta la red hidrográfica de toda la cuenca (color celeste), y los canales (color rojo) (adaptada del PMI, 1999). En la Figura 2.19 se indica un

detalle de las lagunas y canales en el área de estudio de la presente tesis, Pehuajó y Trenque Lauquen. Algunas de estas lagunas se indicaron en Figura 2.8.

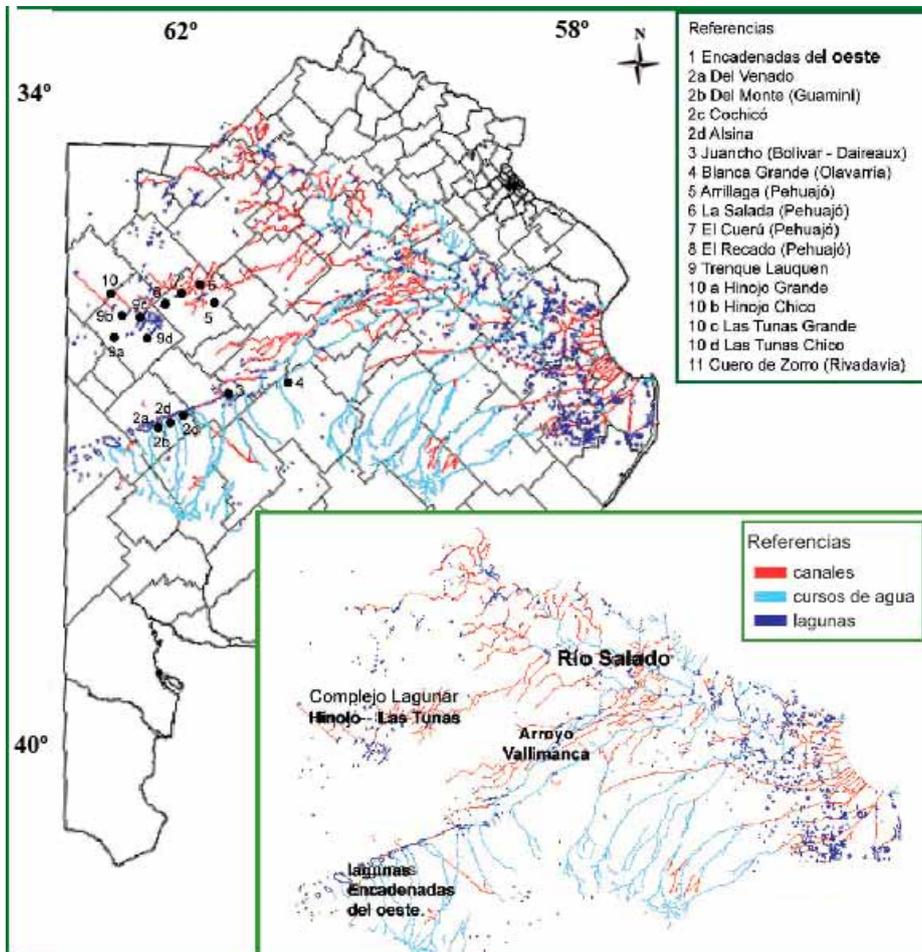


Figura 2.18 Lagunas del noroeste bonaerense (adaptada de PMI, 1999)

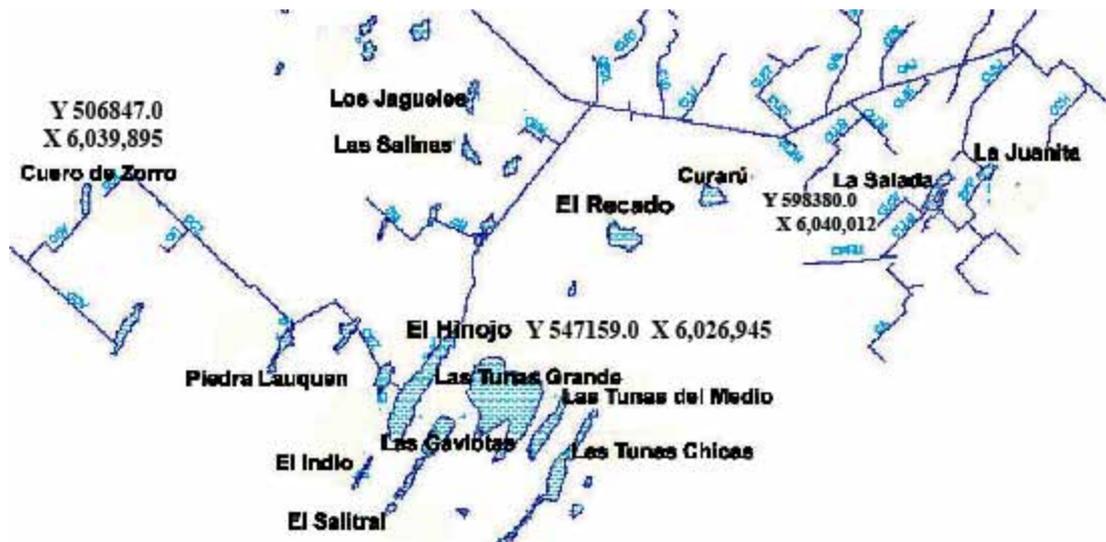


Figura 2.19 Detalle de Lagunas en el área de estudio Pehuajó y Trenque Lauquen (adaptada de PMI, 1999). Coordenadas UTM de lagunas Cuero de Zorro, La Salada, y El Hinojo.

Dangavs (2005), señala que los ambientes lagunares de la provincia de Buenos Aires constituyen el relieve más conspicuo de la planicie bonaerense. Este autor indica la existencia de varios miles de lagunas, con diferentes características evolutivas; con una distribución, morfología y tipología relacionada con clima, relieve, litología y estructura geológica. Este tema es analizado con detalle en el punto 2.1.6.

El relieve de la región muestra en primer plano la relación entre *referente geológico y clima*; y en un segundo plano, la relación entre *éste y el sistema hidrológico* que se desarrolla en forma regional, lo que le imprime una característica geomorfológica particular que se ve representada por las condiciones húmedas del subsuelo y que se manifiestan con una superficie freática somera con profundidad de centímetros hasta algunos metros, lo cual es congruente con la posición fisiográfica de la región del noroeste.

2.1.2.2. Referente geológico y estratigráfico regional

Rolleri (1975) realiza una revisión de las regiones en que fue dividida la provincia de Buenos Aires, basada en componentes geológicos, morfológicos, geográficos, por diferentes autores (Tapia, 1937; Frenguelli, 1950, Borrello, 1969, citados en Rolleri, 1975), e indica que a su juicio en la provincia de Buenos Aires, por características geológicas (estratigráficas, estructurales, geomorfológicos, y evolutivas) pueden distinguirse seis provincias geológicas. Este autor define una **Provincia geológica** como “*una región caracterizada por una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio, rasgos geomorfológicos peculiares, siendo el conjunto expresión de una particular historia geológica. Posee límites más o menos definidos, pudiendo presentar en todo su entorno, o en partes del mismo transición con provincias geológicas vecinas*”. El sitio del presente estudio, se ubica en la región seis, denominada **Llanura Chaco Pampeana** (Figura 2.9).

Cingolani (2005) realiza una extensa revisión de las diversas reseñas geológicas de la provincia de Buenos Aires, desde el año de 1883 hasta el 2000, año en que destaca la publicación del Mapa Geológico de la Provincia a escala 1:500,000. A partir de toda esta información presenta una reseña de las unidades morfoestructurales y estructuras menores del ámbito bonaerense (Figura 2.20). Define **Unidad Morfoestructural**, como “*una extensión de terreno de escala regional que se distingue de su entorno por mostrar un relieve o desarrollo de subsuelo característico, condicionado por la litología y estructura de los conjuntos rocosos*”. Este autor, destaca que se diferencia del concepto de Provincias Geológicas, definidas por Rolleri (1975) en que no queda necesariamente involucrada la estratigrafía, ni pretende descifrar una historia geológica. Sin embargo, destaca una estricta coincidencia entre las divisiones que proveen uno y otro criterio, tal como se aprecia en las Figuras 2.9 y 2.17.

Cingolani (2005), describe a la provincia de Buenos Aires como una dilatada llanura con sedimentos cenozoicos, destacándose sólo los cordones serranos de Tandilia y Ventania. Estos cordones y la región inter-serrana que los une conforman el **positivo bonaerense**.

En el subsuelo se destaca la presencia de **cuencas sedimentarias**: Salado, Claromecó y Colorado, y otras menores: Macachín, Laboulaye y Rosario (Figura 2.14), y estructuras alineadas como las de Vallimanca, tal como se aprecia en la Figura 2.21 sobre comarcas fisiográficas. El sitio del presente estudio se encuentra ubicado entre las cuencas sedimentarias de Macachin, Laboulaye, Salado, y los alineamientos de Vallimanca. Estas cuencas sedimentarias, son ámbitos de hundimiento geológico que derivan de movimientos epirogénicos que contrastan con los orogénicos o formadores de montañas, la Provincia de Buenos Aires, así como el resto de la gran Llanura Chaco-pampeana, están directamente vinculados con la evolución de regiones de subsidencia o de hundimiento de la sección superior de la corteza terrestre (PMI, 1999).

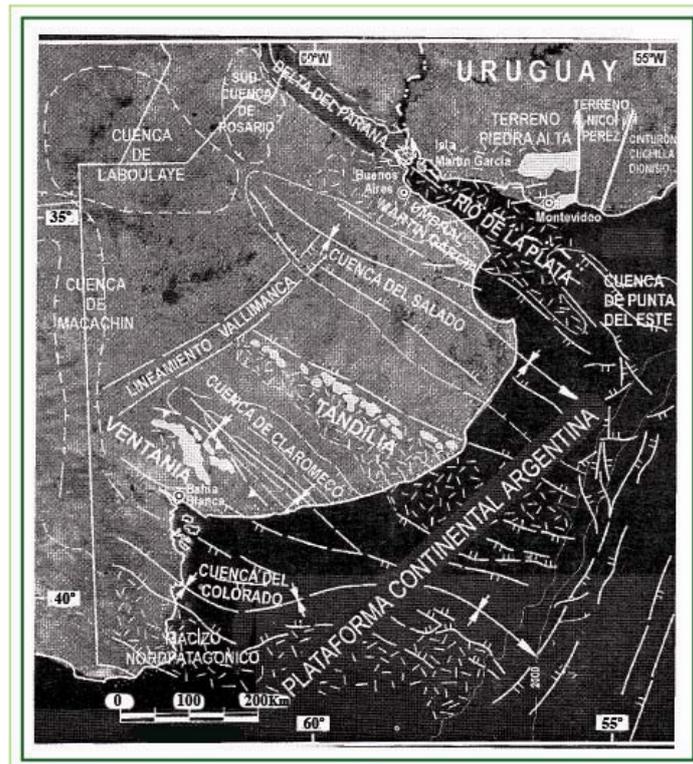


Figura 2.20 Unidades morfoestructurales y estructuras menores del ámbito bonaerense (Cingolani, 2005).

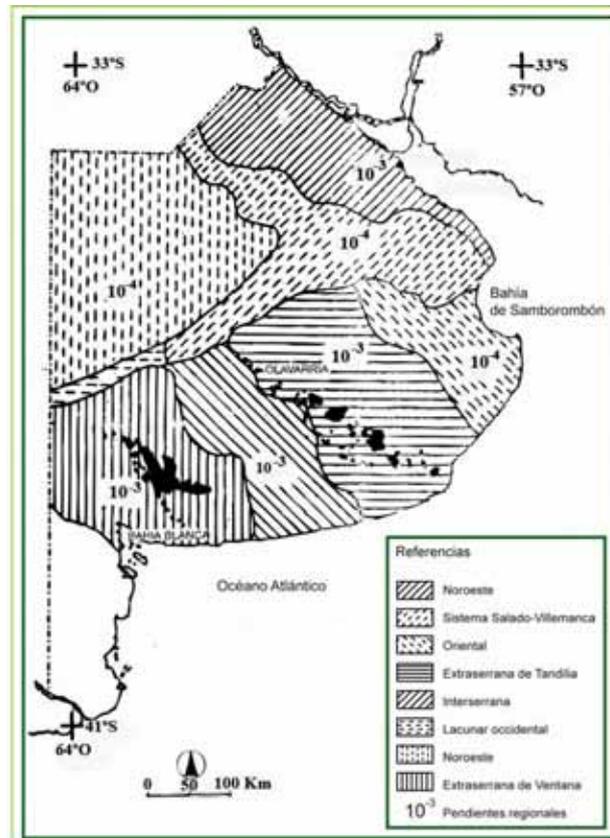


Figura 2.21 Comarcas fisiográficas de la provincia de Buenos Aires (Sala, González y Krause, 1983, en PMI, 1999).

Las unidades sedimentarias que se apoyan sobre el basamento rocoso han sido clasificadas, de las más antiguas hasta las más modernas como: **Pre-Paraná, Paraná, Puelche, Araucana, Pampeano** (desde el Plioceno hasta Pleistoceno), y **Post-Pampeano** (Holoceno) (PMI, 1999). La comprensión regional de la estratigrafía sobre la cual establece la distribución hidrogeológica presentada en PMI (1999), se basa en Yrigoyen (1973), DYMAS (1974), Zambrano (1974), CFI (1980), Fidalgo (1983), Malagnino (1988) y AEE (1990).

Las características del **perfil estratigráfico**, formaciones que lo integran, edad, litología principal y comportamiento hidrogeológico se describen a continuación en el ambiente hidrogeológico que corresponde al área de estudio.

2.1.2.3. Hidrogeología

Ambientes hidrogeológicos

Mugni (1998), describe cinco ambientes hidrológicos para la provincia de Buenos Aires, 1- *Noroeste*, 2- *Extrapedemontana*, 3- *Noroeste*, 4- *Oriental* y 5- *Lacunar occidental*, y describe un subambiente dentro del ambiente 1, que cubre los partidos de Rivadavia, Pehuajó y 9 de Julio (Figura 2.19). La Cuenca del Salado se incluye dentro de los ambientes del noreste y noroeste, y el presente estudio en este último.

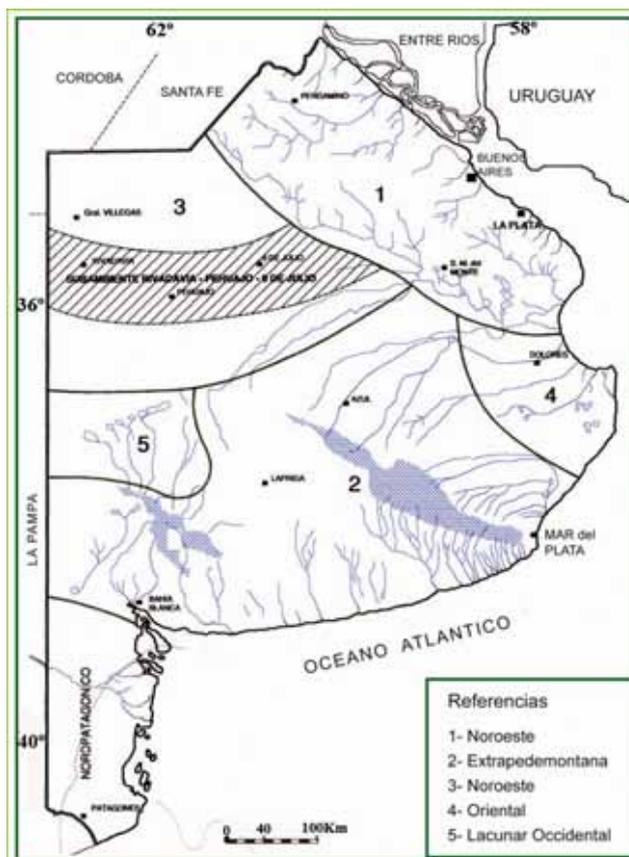


Figura 2.22 Ambientes hidrológicos de la provincia de Buenos Aires (extraída de Mugni, 1998)

Dentro de la Cuenca del Salado, en el Informe Final del PMI (1999) realizan a su vez una diferenciación de ambientes hidrogeológicos sobre la base de dos de los factores que mayor incidencia ejercen en el agua subterránea (referentes geológico y morfológico), pues clima y biota poseen menor influencia debido a su mayor uniformidad dentro del ámbito estudiado. Se describen para la provincia de Buenos Aires, cuatro ambientes, *Deprimido*, *Serrano*,

Interserrano y pedemontano, y el Ambiente Noroeste, que es donde se ubica el sitio del presente estudio, y se corresponde con el indicado como ambiente 3 en la Figura 2.22.

González (2005) enuncia las regiones hidrogeológicas que diferentes autores han dado para la provincia de Buenos Aires. Destaca entre ellas, las presentadas por Sala *et al.* (1975) quienes describen catorce sub-ambientes; el trabajo de Hernández *et al.* (1975) presenta una regionalización de los llamados *acuíferos profundos*, distinguen seis ambientes hidrogeológicos, y la propuesta de Auge (2003) quien distingue para la provincia ocho regiones hidrogeológicas. González (2005) describe entonces, once regiones hidrogeológicas para la provincia de Buenos Aires (Figura 2.23), ubicándose el presente estudio en la región 2 (noroeste). En el mapa de regiones hidrogeológicas a nivel nacional, el área de estudio incorpora sedimentos y rocas saturadas con agua en su porosidad intersticial, la cual, con base en los gradientes hidráulicos tan bajos (del orden de 0.25‰) se mueve a velocidad baja (metros por año) a muy baja (centímetros por año) debido a su moderada (30 m/día) a baja (0.5m/día) conductividad hidráulica y relativa alta porosidad (5-20%) (Figura 2.24). Desde la perspectiva hidrogeológica, el agua subterránea está formando un sistema acuífero de gran extensión, de tipo libre, con confinamientos y semi-confinamientos locales, a través de los cuales el agua fluye desde las partes altas del territorio (zona de recarga del flujo regional Mendoza-Sierra de Tandil) descargando en el Océano Atlántico; el agua del flujo regional viaja a gran profundidad siendo la mayor del orden de los 5,000 m.

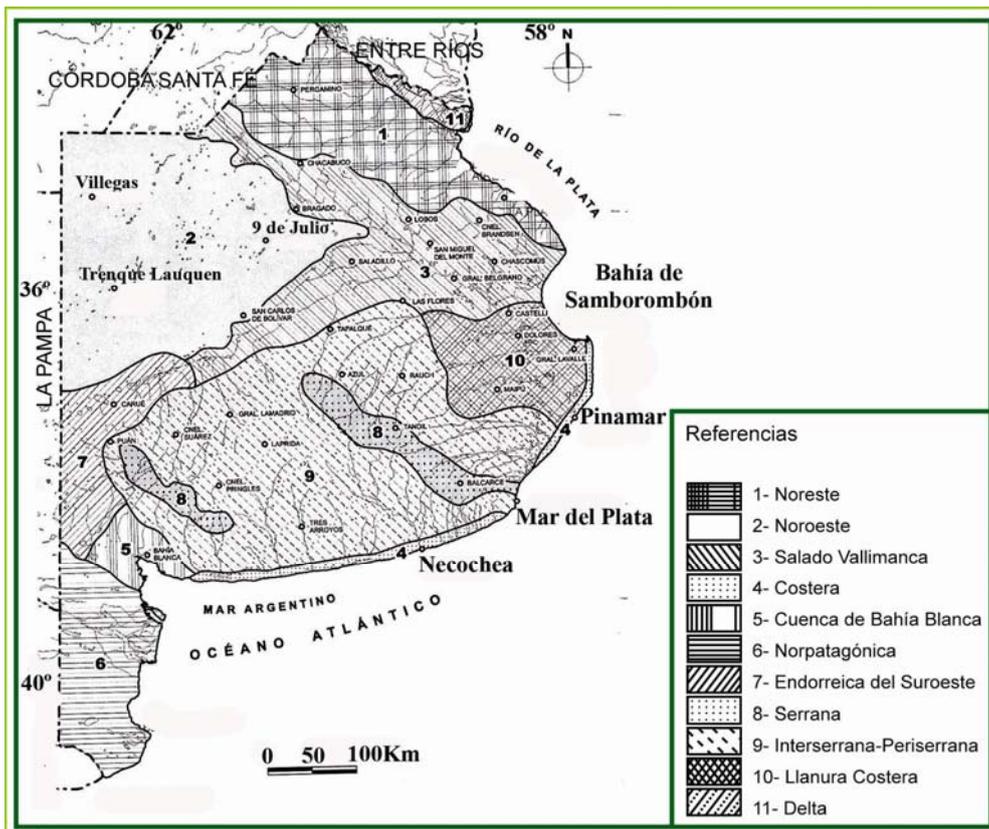


Figura 2.23 Regiones hidrogeológicas, provincia de Buenos Aires (extraída de González, 2005)

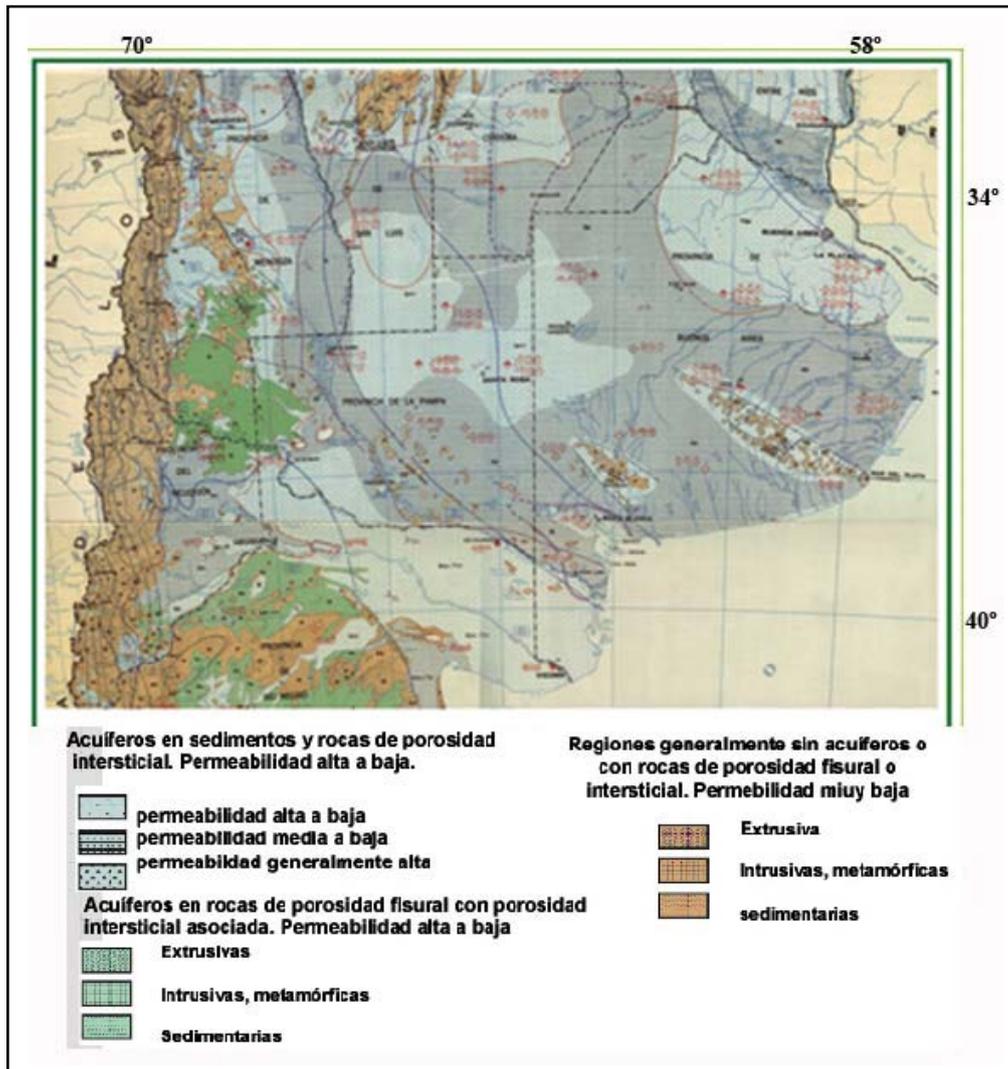


Figura 2.24 Regiones hidrogeológicas entre la cordillera de los Andes y provincia de Buenos Aires (INCYTH, 1978)

Ambiente Hidrogeológico del Noroeste

A continuación se presenta el Tabla 2.1, donde se describe el **perfil estratigráfico**, formaciones que lo integran, edad, litología principal y comportamiento hidrogeológico, y se da en el texto un detalle del mismo (adaptado de PMI, 1999, y González, 2005). El espesor indicado entre paréntesis, corresponde al dado en PMI (1999), mientras que el que no tiene paréntesis se indica en González (2005). En los casos en que se indica un sólo espesor es porque coincide en ambas publicaciones.

Mugni (1998) indica que del mapa isopáquico de Zambrano (1974) referido a los sedimentos sobrepuestos al basamento, se deduce para el área de estudio (3-Noroeste) un espesor menor de 1,000m (Figura 2.9). Por el contrario, en otras cuencas los espesores son mucho mayores. Así, en la Cuenca del Río Salado, este supera los 6,000 m, mientras que en el sector más profundo de la Cuenca de Laboulaye (sureste de Córdoba) la potencia sedimentaria puede ser mayor a los 4,000m, y para la Cuenca de Macachín mayor a 2,000m (Figura 2.14).

La descripción detallada de las formaciones geológicas indicadas en Tabla 2.1, en relación con su composición mineralógica, espesor, características hidrológicas (rendimiento específico), así como la caracterización de secciones hidrogeológicas, su comportamiento hidrodinámico e hidrogeológico, se presenta con mayor detalle en el Anexo A-1. El esquema general sobre

estas unidades se presenta en el *Bosquejo geológico* de la provincia de Buenos Aires (corte transversal) (Yrigoyen, 1975), indicándose el detalle del área de estudio (Figura 2.10).

Tabla 2.1 Espesor, formación, edad, litología, y comportamiento hidrogeológico del material geológico (adaptado de PMI, 1999, y González, 2005)

Espesor	Formación	Edad	Litología	Comportamiento hidrogeológico
0 – 20 (0-30)	Médano Invasor (o Junín)	Holoceno	Arena fina a limosa, limo arcilloso	Zona no saturada/ unidad acuífera libre, discontinuo de buena productividad. Salinidad (500 – 2,000 mg/l)
80 – 165 (5 a 160)	Pampeano	Pleistoceno	Limo arenoso, limo arcilloso, calcáreo (loess)	Unidad acuífera libre continua de media productividad, acuitados. Salinidad (1,000 – 30,000 mg/l)
0 – 140 (25-100)	Araucano	Plio-Pleistoceno	Arenisca arcillosa, calcárea y yeso	Unidad acuífera semiconfinada Acuícludo con tendencia a acuitardo o pobremente acuífero. Salinidad (> 5,000 mg/l)
0 – 60 (25-100)	Arenas Puelches	Plio-Pleistoceno	Arena fina a mediana c/matriz arcillosa	Unidad acuífera semiconfinada de media a alta productividad. Salinidad (2,000 – 10,000 mg/l)
10 – 100 (0-150)	Paraná (superior e inferior)	Mioceno Superior	Arcilla verde y verde azulada Arena con calcáreos y fósiles marinos	Acuícludo en la sección superior. Unidad acuífera de baja productividad en la sección inferior, confinado. Salinidad (10,000 – 30,000 mg/l)
80 – 230	Olivos	Mioceno Inferior	Arenisca y arcilla rojizas, con yeso y anhidrita	Acuícludo en la sección superior unidad acuífera de baja productividad en la sección inferior. Salinidad (6,000 – 60,000 mg/l)
150 – 290	Las Chilcas	Paleoceno	Limolita y arcilla marinas	Acuícludo con agua de alta salinidad
130 – 345	G Belgrano	Cretácico	Arenisca bien consolidada y limolita arenosa	Unidad acuífera de muy baja productividad. Acuitardo. Acuícludo. Unidad acuífera confinada Salinidad (> 50,000 mg/l)
	Basamento Hidrogeológico	Paleozoico	Cuarcita y caliza	Acuífugo. Medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo
		Precámbrico	Granito y gneiss	En fisuras. Productividad nula a muy baja. Salinidad muy alta.

Sistema acuífero

Trabajos como el PMI (1999) describen que el sistema de agua subterránea actualmente activo está compuesto por las formaciones Araucana, Puelche y Pampeana y que regionalmente, la Formación Pampeana forma la cima del acuífero mientras que localmente, las dunas de arena (Formación Médano Invasor) se suman al espesor del sistema acuífero en la región del noroeste. Todas las unidades tienen continuidad hidráulica y puede considerarse como un sistema no confinado (freático) regionalmente. La superficie freática se encuentra a escasa profundidad en toda la región. Durante años recientes, la profundidad ha sido generalmente inferior a 5m, y en los sitios donde se ubica cercana a la superficie, dio origen a la aparición de innumerables humedales y lagunas, que en la mayoría de los casos es expresión superficial de la superficie freática.

En el PMI (1999) se establece que el espesor y presencia variada de las formaciones geológicas involucradas y la existencia de agua subterránea salina y salobre, no forman parte significativa del sistema de agua subterránea actualmente activo; y consideran que en términos de agua subterránea, las arcillas de la Formación Paraná, pueden considerarse la base efectiva del sistema activo (límite inferior hidráulico). Agregan que en el sur, donde la Formación Paraná desaparece, la base del sistema está formada por rocas precámbricas de muy baja porosidad.

Sin embargo, en el presente trabajo se consideran todas las formaciones geológicas existentes y que de diversas formas influyen en el comportamiento del agua subterránea y por *ende* de la presencia de lagunas de inundación.

Kruse y Zimmermann (2000), efectúan una caracterización hidrogeológica regional y analizan el estado del conocimiento actual acerca de la cuantificación y modelado de los procesos hidrológicos en la Llanura Pampeana (Argentina). Estos autores, indican que son escasas las mediciones de variables hidrológicas, al igual que el desarrollo de modelos apropiados para simular los procesos dominantes, y describen sintéticamente algunos modelos que se han utilizado en el país, destacando el uso de MODFLOW de McDonald y Harbaugh (1996), y su aplicación en diversos sitios de la Argentina (La Pampa, Buenos Aires, y Santa Fe). Asimismo, destacan los estudios necesarios a fin de comprender la región pampeana. Al respecto, señalan que los balances hidrológicos constituyen un paso fundamental para dicha comprensión, los cuales quedan definidos por la diferencia entre ingresos, egresos de agua y su consiguiente variación en la capacidad de almacenamiento, siendo diferentes los procesos y variables que intervienen: precipitación, evapotranspiración; escorrentía fluvial, y escorrentía subterránea, extracción por bombeo y drenado de agua. Por otra parte, destacan la necesidad de registrar en la zona saturada las variaciones del nivel freático, niveles piezométricos, y efectuar la caracterización hidroquímica, en especial de elementos mayoritarios, de los distintos niveles del agua subterránea. La zonación química areal como vertical no sólo aporta datos acerca de las posibilidades de uso del agua, sino que pueden ser sumamente útiles para reconocer particularidades del flujo subterráneo, zonas de recarga y descarga, variaciones litológicas o cuantificar la conductividad hidráulica del medio en el subsuelo.

Parámetros hidrogeológicos

Si bien se encuentran asequibles algunos datos de ensayos de bombeo, los mismos no son suficientes para realizar una interpretación regional de los parámetros hidráulicos de las unidades que inciden en el funcionamiento del agua subterránea. Estudios previos (DYMAS, 1974; MOSP, 1987; AEE, 1990 en PMI, 1999) se han basado en el uso de métodos de cálculo inverso para determinar la **conductividad hidráulica (K)** y han empleado fórmulas extraídas de literatura internacional para estimar el **almacenamiento específico (Sy)** del sistema, por lo cual los valores consignados se consideran que son sólo de referencia inicial y son valores obtenidos del análisis de un número de perforaciones de agua subterránea realizadas por el SPAR (Servicio Provincial de Agua Potable, provincia de Buenos Aires) y OSBA (Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Valores de conductividad hidráulica y almacenamiento de las formaciones principales dadas en el PMI (1999)

Formación	Conductividad Hidráulica K (m/d)	Almacenamiento Sy (%)
Médano Invasor	5-10	10-15
Pampeano	0.5-7	5-10
Puelche	10-30	10-20
Araucana	0.5-5	5-10

Los valores Sy fueron adoptados teniendo en cuenta la situación de no confinamiento regional del acuífero, sin embargo, se dan en forma localizada condiciones de infiltración entre la Formación Pampeano y las unidades subyacentes, debido a las características arcillosas de la unidad superior. Auge (1986) registró un valor para el **coeficiente de infiltración** de 10^{-4} m/d para la Formación Puelche al norte de la Cuenca del Río Salado.

La información litológica e hidrogeológica (Auge y Hernández, 1983 y Auge *et al.*, 1988) indica que la Formación Puelche tiene características isotrópicas razonables pero las formaciones Araucana y Pampeana forman capas que se presentan en forma inconstante a lo largo de su extensión, con una conductividad hidráulica horizontal mayor que la vertical de 10:1, considerada como una proporción factible.

En la Formación Pampeana, hacia el sur, adyacente a las Sierras de Tandil y de la Ventana, se pueden encontrar valores de K mayores a los indicados anteriormente. En dicha zona la unidad forma un pie de monte y tiene una litología más gruesa que en la planicie. Auge (1994 en PMI, 1999) informa un valor para la K de 10m/d y un S_y de 0.1 en una evaluación de perforaciones al sur de Tapalqué, y en Azul, Auge y Strelczenin (1990) registran una K de 7m/d y 12% para el S_y .

Además de las principales unidades acuíferas, el sistema de agua subterránea está, en menor medida, afectado por el reciente relleno de sedimentos que subyacen y bordean el cauce de ríos y arroyos. Dichos sedimentos son intrínsecamente de granulometría fina y tiene valor muy bajo de K , posiblemente del orden de los 0.001m/d.

Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) indica que del total de ensayos de bombeo identificados y analizados en 23 localidades en el sur de Santa Fe, sur de Córdoba, y noroeste-centro de la provincia de Buenos Aires, y provincia de La Pampa, se observa una variación del **coeficiente de almacenamiento** (porosidad) bastante amplia, desde 0.03 hasta 0.22. A continuación se indican los valores que presenta este último autor, ordenadas según su delimitación hidrometeorológica:

- Zona I, sur de Córdoba, y sur de Santa Fe: Estación Laboulaye, $S = 0.043$; y Estación Rufino, $S = 0.08$.
- Zona II, noroeste de Buenos Aires: Estación Gral.Villegas, $S = 0.04$, y Estación Mackenna, $S = 0.15$
- Zona III, La Pampa y noroeste-centro de Buenos Aires: Estación Rancul, $S = 0.1$; Estación Gral. Pico, $S = 0.17$; y Estación Mari Lauquen, $S = 0.1$.
- Zona IV, centro y centro-este de Buenos Aires: Estación Azul, $S = 0.1$; y Estación Dolores, $S = 0.07$.

Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) indica además, que la velocidad del flujo subterráneo resulta extremadamente reducida, por lo que considera que la transferencia de agua se produce fundamentalmente en el sentido vertical, y la descarga está dada por la evapotranspiración. Este autor considera que el flujo ascendente sólo se produce por la evapotranspiración, y no como resultado de un flujo subterráneo de descarga.

Con base en lo expuesto, calcula que para una conductividad hidráulica de 5, 10 y 20m/día, con un gradiente hidráulico de 0.00035m/m se tienen velocidades de 0.0017, 0.0035, y 0.0070m/día, respectivamente. Estos datos fueron considerados para la modelación mediante MODFLOW, ya que representan las características hidráulicas de las capas geológicas modeladas.

Hidrogeoquímica

Agua subterránea

En el PMI (1999) se efectúa una revisión de todos los trabajos realizados sobre el flujo de agua subterránea, se aprecia que se ha estudiado en forma limitada el funcionamiento del sistema hidrológico subterráneo, y del análisis que efectúan, al parecer se considera que el agua subterránea que procede de fuera de la cuenca tiene una importancia parcial debido a su

movimiento relativamente lento durante el tiempo geológico, tema que se comenta al realizar el análisis hidrogeológico conceptual, en punto siguiente.

De la revisión efectuada en el PMI (1999), surge que el agua subterránea de buena calidad ($<1,000\text{mg/l}$) está presente en el sur del área, en una zona adyacente a las sierras de Tandil y Ventana, y en el norte a lo largo del límite de la cuenca, entre Junín y San Miguel del Monte. En la parte central, el agua de buena calidad se encuentra en las proximidades de 25 de Mayo y General Viamonte. Estas características químicas indican zonas donde se produce recarga directamente sobre el sistema de flujo regional. Sin embargo, se estima que el espesor del acuífero con agua de buena calidad no es grande. Alejándose de las zonas de buena calidad, la zona más baja de la cuenca desde Las Flores hacia la costa, se caracteriza por tener una alta salinidad en el agua subterránea ($>2,000\text{mg/l}$, SDT). En la Figura 2.25, se presenta la división por partidos de la provincia de Buenos Aires, indicándose estos últimos partidos, y otros que se mencionan en esta tesis.

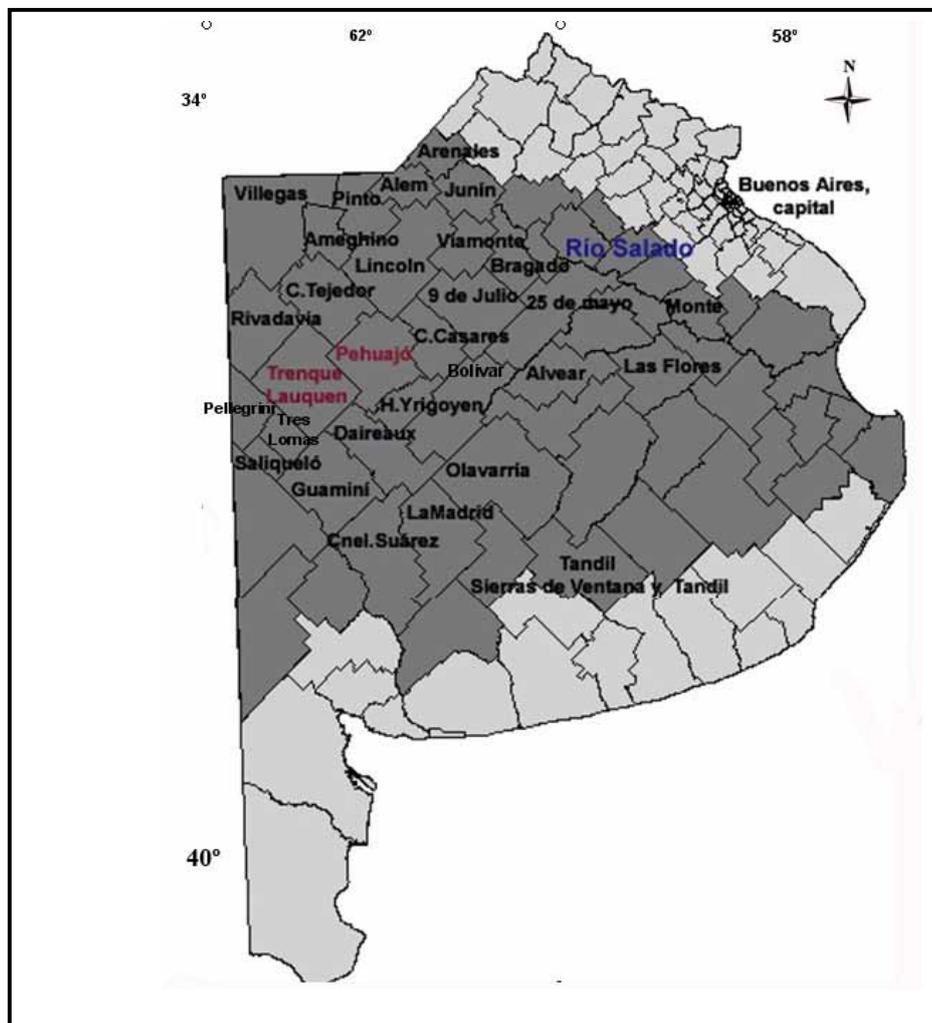


Figura 2.25 División por partidos de la provincia de Buenos Aires

En las planicies fluviales la salinidad del agua subterránea aumenta rápidamente donde el flujo se aproximan a los depósitos Post-Pampeano. En la “cuenca interna” de la región noroeste el valor de salinidad del agua subterránea regional reportada por DYMAS (1974 en PMI, 1999) se encuentran por encima de $2,000\text{mg/l}$ para una gran proporción de la cuenca. En esta “cuenca

interna” la Formación Pampeana es delgada y el agua subterránea está influenciada por las características yesíferas de la Formación Araucana. La presencia de agua con estas características químicas, en una posición “aguas arriba” en la cuenca regional apoya el concepto de “cuenca interna” e indica que el aporte de flujo subterráneo al sistema regional, al menos bajo las condiciones hidrológicas presentes hasta 1974, son limitados.

Generalmente, la pobre calidad del agua subterránea se modifica en forma local en las **dunas de arena**, posiblemente desde que se estableció un régimen de lluvia más abundante desde el comienzo de la década de 1970. El agua de buena calidad se acumula en las dunas pudiendo formar en algunos casos lentes de agua de buena calidad, sobre los grandes estratos subyacentes con agua de mala calidad a nivel regional; por ejemplo, el agua en las lentes de Mari Lauquen tienen una salinidad baja del orden de 400mg/l, comparada con el valor subyacente regional de 2,000mg/l. El agua de estas lentes se mezcla con el agua de alta salinidad subyacente, cuando se produce un flujo hacia las depresiones inter-dunales la salinidad aumenta a través de evaporación.

Agua superficial

Respecto al agua superficial en el PMI (1999) se indica que recibe sales provenientes del sistema de agua subterránea, de la evaporación, de la disolución de materiales Post-Pampeanos a lo largo de los cursos fluviales, de trasvase de cuenca, tal como en la laguna Epecuén-Arroyo Vallimanca y del avenamiento. Existen pocos datos utilizables sobre caudal y salinidad. Las mediciones del proyecto en noviembre de 1997 indican la presencia de salinidades más altas en el Canal Mercante (Figura 2.3) drenando la “cuenca interna”, en el Río Salado. La salinidad en el Canal Mercante varía según el sitio y momento, va desde aproximadamente 7,800mg/l a 17,600mg/l, comparado con 5,400mg/l hasta 10,600mg/l en el Río Salado. Generalmente, canales y ríos sirven como sumidero de salinidad proveniente de descarga de agua subterránea. En la Figura 2.18 se presentó el detalle de los principales cursos y lagunas del sitio de estudio, adaptado de PMI (1999).

Análisis hidrogeológico conceptual

El PMI (1999) considera que a partir de la información recopilada, se dispone de información como para afirmar que para los objetivos hidrogeológicos regionales, el sistema se ha considerado como no confinado definiendo como su base el techo de la Formación Paraná (Anexo A-1). El sistema activo en lo que respecta a flujos de agua subterránea está presente en las formaciones Post-Paraná, que generalmente poseen litología de grano fino a mediano y por ende, tiene generalmente una conductividad hidráulica de baja a moderada.

Exceptuando las zonas periféricas serranas (Ventana y Tandil) en el límite sur de la cuenca, el gradiente de agua subterránea es muy suave con caudal regional que van en dirección este hacia la costa. En el oeste, previo a la construcción del sistema Jaureche-Mercante-Italia (Figura 2.3), él área se comportaba como cuenca aislada, y no existía conexión con la Cuenca del Río Salado. El agua subterránea fluye hacia los ríos, e intermitentemente hacia los arroyos.

Sin embargo, el PMI (1999) efectúa un análisis que a priori, resultan poco claros ya que considera como probable que a lo largo de toda la planicie, la descarga de agua subterránea a cursos de agua sea relativamente pequeña, debido a que la química del agua subterránea tiene alta salinidad bordeando los ríos. Esto es considerado en el PMI (1999) como un hecho que no se corresponde con la afluencia de grandes flujos de agua subterránea. Asimismo, indican que la muy fina litología del material de relleno de los valles, poseen muy baja conductividad hidráulica y esto restringiría la interacción entre el agua subterránea y superficial. Esto, no es coincidente con los datos de conductividad hidráulica reportados incluso en el propio informe del PMI (1999), y otros autores.

El informe del PMI (1999) indica la presencia de pequeñas depresiones, humedales y lagunas, a lo largo de toda el área que aumentan progresivamente de oeste a este. Estas están determinadas por la pendiente topográfica muy suave y por un espesor no saturado muy delgado, por lo cual según este informe, el régimen de agua subterránea se encuentra severamente restringido por el régimen hídrico superficial. Sin embargo, las características climáticas y geomorfológicas sugieren lo contrario.

Geomorfológicamente, una característica de la planicie es la falta de cursos de agua fuera de los principales ríos y arroyos. Esto muestra que el área no está dominada por una red de avenamiento convencional con aporte de escorrentía directa de las lluvias, si bien esto está presente en el faldeo norte de las sierras de Tandil y Ventana (Figura 2.2 y Figura 2.25).

Debido al pequeño espesor no saturado, la superficie freática se encuentra directamente sujeta a la evapotranspiración, que ejerce un control directo sobre los niveles de agua subterránea. Cuando se producen eventos importantes de lluvia, y por ende de recarga potencial al agua subterránea, se excede la pérdida a consecuencia de la evaporación, la superficie freática se eleva rápidamente y tiene lugar la descarga de agua subterránea a la superficie, anegando gran superficie de tierra creando lagunas no perennes y aumentando la extensión del territorio ocupado por las lagunas perennes. Dependiendo de la configuración topográfica y el volumen de descarga, los bajos comienzan a unirse dando lugar a un aumento de la superficie afectada y, en algunos casos, a situaciones de escorrentía superficial de carácter semiregional o regional. En resumen, el informe del PMI (1999) considera que el aporte de agua subterránea en los eventos de inundación superficial es de tipo transitorio, lo cual no se condice con lo anteriormente expuesto en relación a las condiciones climáticas y geomorfológicas.

Durante los períodos en los que no hay lluvia excesiva, el sistema de agua subterránea se encuentra muy localizado estando equilibrada la recarga con la evapotranspiración, resultando en un flujo lateral limitado que contribuye al caudal regional. Esto indica que el caudal regional es relativamente pequeño, lo cual es consistente con la conductividad hidráulica relativamente pequeña, la pendiente regional muy suave y la salinidad subterránea relativamente alta.

2.1.3. Suelo

2.1.3.1. Descripción edáfica del área de estudio

En el estudio de la Cuenca del Río Salado (PMI, 1999) se ubica mayoritariamente al área de estudio en la *Zona Agroecológica 4*, denominada: *Noroeste Templado Norte* (Figura 2.26). Esta abarca los siguientes partidos: General Villegas, General Pinto, Lincoln, Carlos Tejedor, Florentino Ameghino, Rivadavia, Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares (Figura 2.25). Esta área corresponde principalmente con los Dominios Edáficos 15 y 16, y adicionalmente con el Dominio 21 del Mapa de Suelos 1:500,000 de la provincia de Buenos Aires (SAGyP-INTA 1989) (Figura 2.13). Asimismo, el área de estudio incluye una parte menor de la *Zona Agroecológica 3*, denominada *Agrícola-Ganadera Norte*, que abarca parte o el total de los partidos siguientes: L.N. Alem, Lincoln, Junín, Gral. Viamonte, 9 de Julio, 25 de Mayo, Carlos Casares y Bolívar; y la *Zona Agroecológica 5* denominada *Noroeste Templado Sur* ubicada en el extremo oeste de las zonas anteriores, y está integrada por parte o el total de los siguientes partidos: Pellegrini, Trenque Lauquen, Tres Lomas, Salliqueló, Guaminí, Daireaux, Hipólito Yrigoyen, Carlos Casares y Bolívar (Figura 2.25 y Figura 2.26). Corresponde principalmente a los Dominios Edáficos 15 y 16 del Mapa de Suelos de INTA (SAGyP-INTA, 1989) (Figura 2.13). Esta zona 5, presenta características muy semejantes a la zona 4. En Figura 2.27, se presentan un detalle de los dominios mencionados, y algunas de las subdivisiones a modo de ejemplo, si bien no se describen. En estas, los suelos se describen con mayor detalle y presentan una mayor asociación con las unidades geomorfológicas menores.

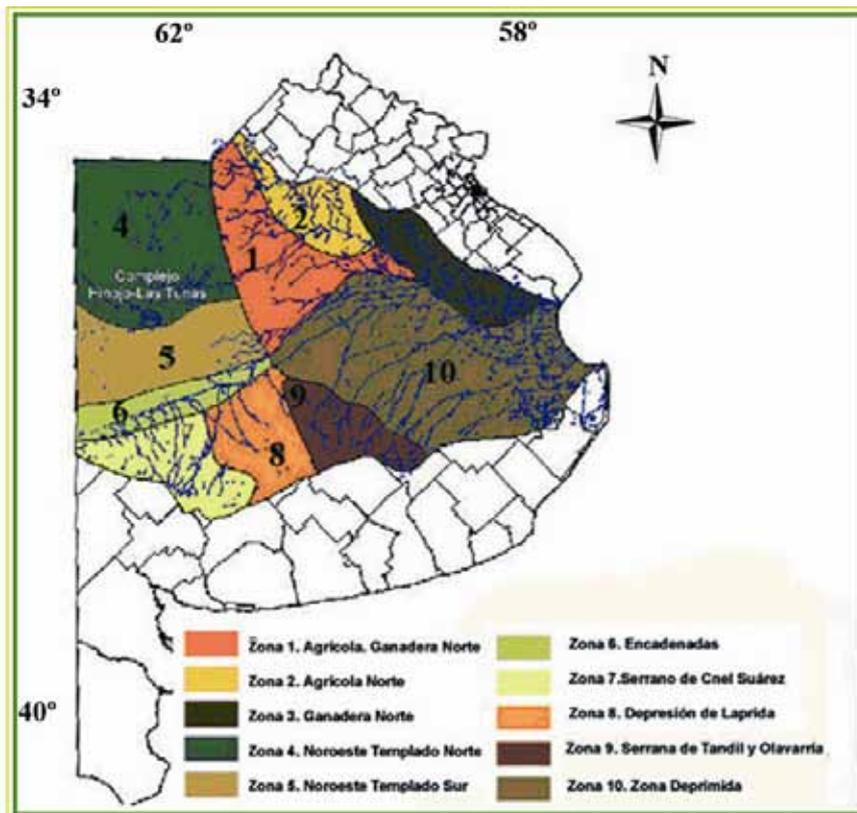


Figura 2.26 Zonas Agroecológicas de la Cuenca del Río Salado (PMI, 1999)

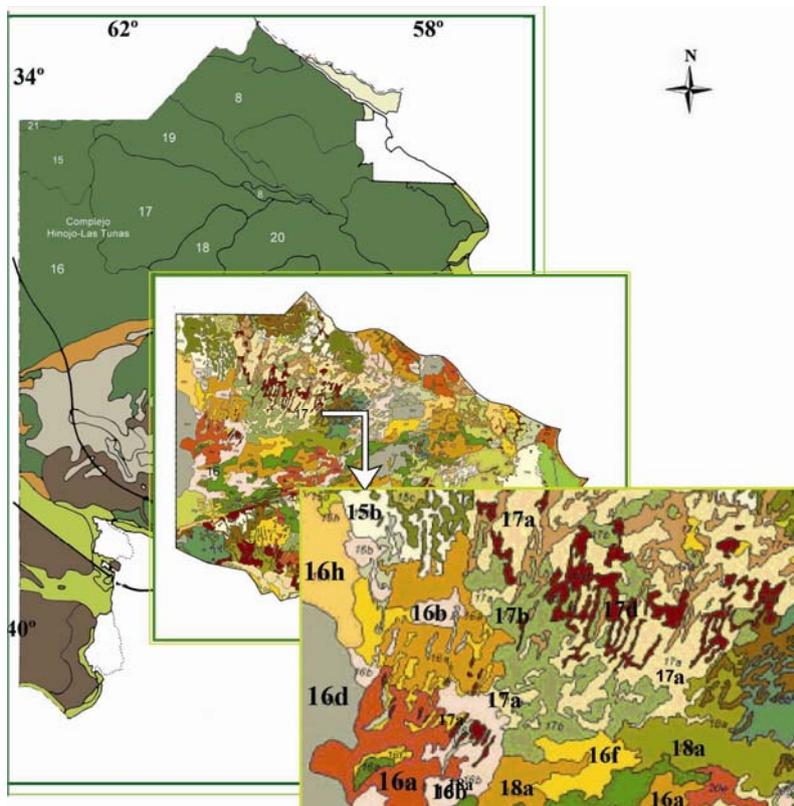


Figura 2.27 Detalle de Dominios edáficos del área de estudio (adaptado de PMI, 1999)

Material original, relieve, tipo de suelo

Esta región presenta un **relieve** caracterizado por ser una extensa planicie desarrollada sobre sedimentos eólicos estabilizados, remodelados en médanos longitudinales con buen avenamiento y cuencas interiores cerradas. Los sedimentos eólicos han sido depositados en dos ciclos subsecuentes, uno más antiguo con una textura arcillosa y otro más reciente de composición arenosa. Los suelos se han desarrollado en ambos sedimentos. Hacia el extremo norte del área los depósitos superficiales son más arenosos. En algunos sitios, se identifica la presencia de una capa de 0.01m de ceniza volcánica entre 0.10 y 0.50m de profundidad de edad reciente (1932) (PMI, 1999). En la Figura 2.28 se presenta el mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires, donde se aprecia la distribución de los materiales mencionados.

El mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires a escala 1:500,000 (SAGyP-INTA 1989), indica que la litología superficial de la provincia es en esencia, una amplia llanura cubierta por sedimentos no consolidados de edad Cuaternaria, aportados en su mayor parte por el viento y que fueron redistribuidos parcialmente por acción hídrica de costa junto con depósitos marinos incorporados.

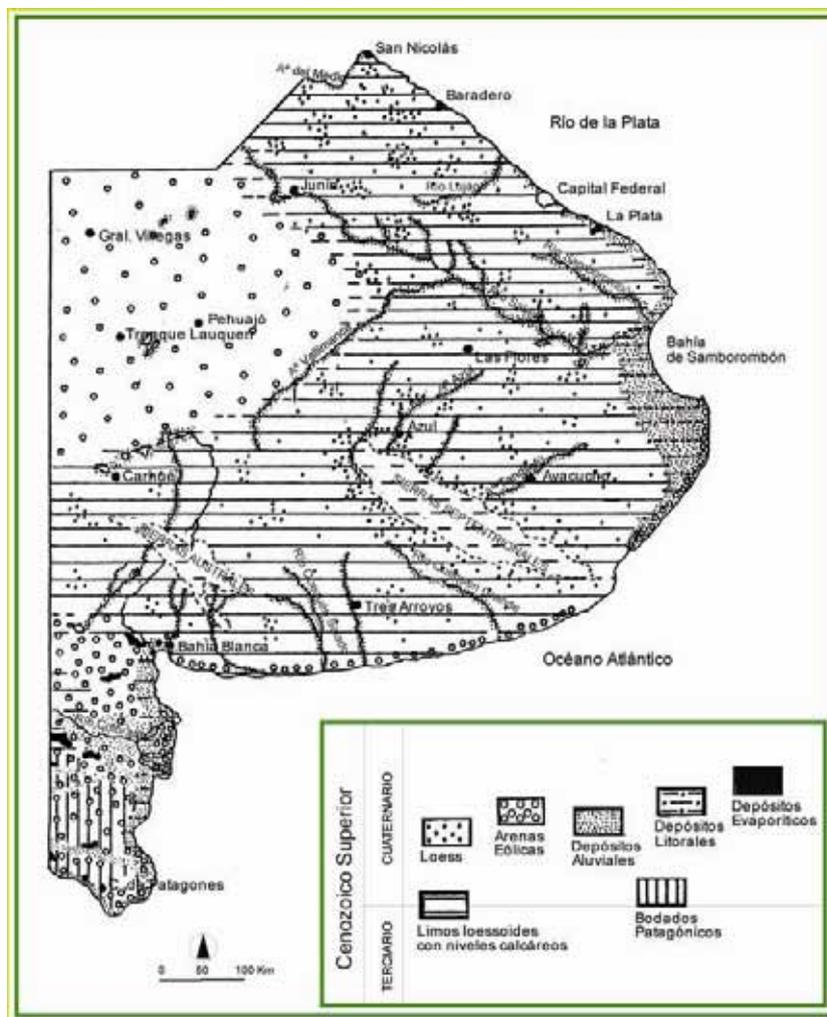


Figura 2.28 Mapa geológico de la Provincia de Buenos Aires

De las formaciones del Cuaternario, la que tiene mayor vinculación con los suelos de la provincia de Buenos Aires, son el Bonaerense (E3) y el Médano Invasor (E1), pues a partir de éste se ha desarrollado la mayor parte del suelo de la provincia. En general, el suelo se ha

desarrollado sobre uno u otro material, **Hapludoles** en el oeste sobre la *Formación Médano Invasor* (en el área del presente estudio, noroeste), y Argiudoles en el este de la provincia, sobre el Bonaerense. Asimismo, es también frecuente encontrar suelos que se han desarrollado sobre estos dos materiales superpuestos (**Hapludoles tpto** en diferentes sectores del centro de la provincia y en la región noroeste). Si bien en muchos casos resulta difícil establecer el límite entre dichas unidades dada su similitud mineralógica y granulométrica, en otros sitios la diferenciación es clara debido a situaciones locales en las que los procesos erosivos del E3, previo al depósito del E1, hacen visible la discontinuidad litológica en la morfología del perfil (color, estructura) (SAGyP-INTA, 1989). Estos suelos “tpto” que significa enterrados, son frecuentes en el área de estudio, tal como se analizará a continuación con mayor detalle.

Respecto a los depósitos eólicos recientes (*Médano Invasor, E1*) que cubre el *Noroeste Bonaerense*, Pampa Arenosa, sub-región de Médanos Longitudinales, Giménez *et al.* (1990) indican que el área está caracterizada por una secuencia estratigráfica de origen esencialmente eólico, en la que se han reconocido tres unidades lito-estratigráficas que de mayor a menor antigüedad son: *Formación Hereford, Formación Carlos Tejedor* y *Formación Las Lilas* las cuales se correlacionan con unidades pedo-estratigráficas y geomorfológicas, tal como se muestran en Tabla 2.3 y en la Figura 2.29 extraídos de Dillon *et al.* (1985).

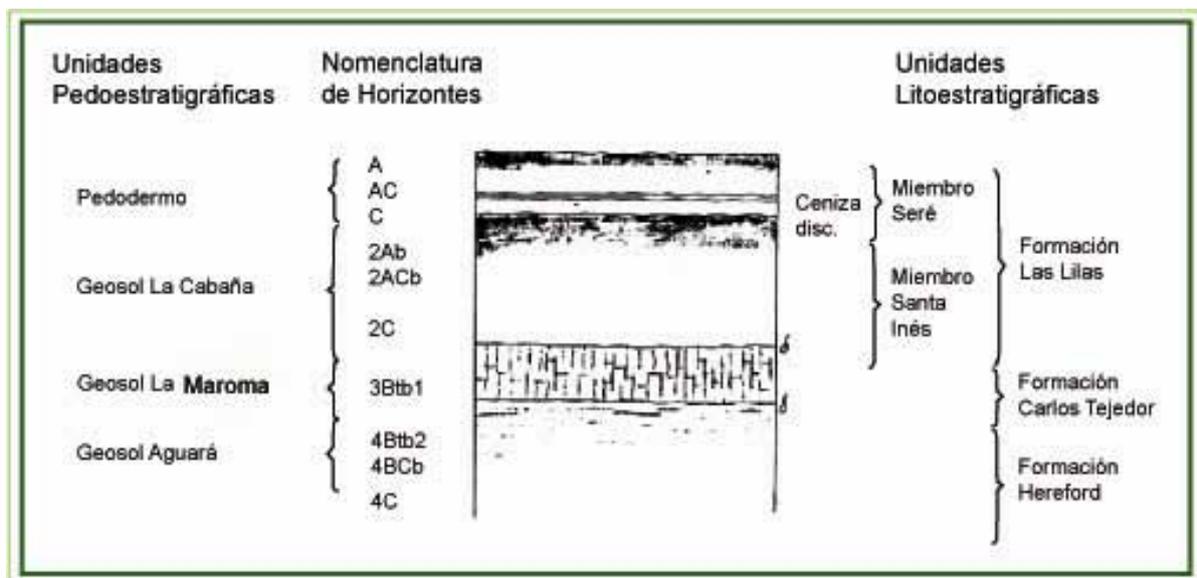


Figura 2.29 Esquema de unidades pedoestratigráficas, suelos y unidades litoestratigráficas (adaptada de Dillon *et al.*, 1985)

La **Formación Hereford**, ocupa toda el área de estudio, encontrándose a 0.5 y 1.0m de profundidad en las unidades geomórficas denominadas *Mantos* y *Mantos Someros*, mientras que en las *Depresiones intermedanasas*, y *Cubetas de Deflación* aparece más cerca a la superficie. La Formación Hereford, esta constituida de sedimento arenoso fino a arenoso limoso donde se ha desarrollado el *geosol Aguará*, que presenta diferente grado de evolución según la unidad geomórfica en que se encuentra. En los *Mantos* el geosol presenta secuencia Bwb-BCb-C, con poca iluviación de arcilla. En sectores topográficamente más bajos, *Mantos someros, Depresiones y Cubetas*, se evidencia una mayor evolución con secuencias Btb-BCb-C. El horizonte Bt presenta en superficie una estructura laminar, con barnices arcillo húmicos espesos dispuestos entre las láminas, y se encuentra endurecido en diferente grado posiblemente por FeO₂, CaCO₃, y SiO₂, restringiendo marcadamente la infiltración del agua, y es responsable importante del retardo de su velocidad de infiltración en el subsuelo, contribuyendo al anegamiento (Giménez *et al.*, 1990; Cabral *et al.*, 1996). Esta respuesta es

muy manifiesta en *sectores deprimidos*, llegando a ser de tal magnitud el endurecimiento producido que impide la penetración de raíces de especies herbácea y arbórea, ocasionando un desarrollo anormal o pérdida de sustentación (Dillon *et al.*, 1987). A estas limitaciones físicas se le suma las de tipo químico, por elevado contenido de Na intercambiable, y sales solubles, observándose rasgos hidromórficos, moteados y concreciones.

La **Formación Carlos Tejedor**, está circunscrita principalmente a la unidad geomórfica de *Mantos Someros y Mantos*, posee un espesor aproximado de 0.30m, y se encuentra a una profundidad de 0.30 a 0.60m, y su granulometría está constituida de material limo arcillo arenoso o limo arcilloso, con rasgos pedogenéticos manifiestos de iluviación de arcilla principalmente en los Mantos Someros (presencia de horizonte argílico Bt) (Giménez *et al.*, 1990). La distribución del horizonte Bt no se ha establecido con exactitud, pero se ha constatado en un gran número de localidades, encontrándose en las zonas deprimidas un Bt endurecido, con contenido muy elevado de sal y álcali (eflorescencia salina y humato sódico) (Dillon *et al.*, 1987).

La **Formación Las Lilas**, corona la secuencia sedimentaria en la mayoría de las geofórmulas descritas en los antecedentes, apoyándose en la discordancia sobre la Formación Carlos Tejedor. Está constituida por arena fina, alcanzando un espesor máximo de 10m en los *Médanos*, mientras que en los sectores deprimidos sólo tiene 0.15 a 0.20m.

En esta formación se ha desarrollado el suelo actual (horizonte A), al que subyace un suelo enterrado (secuencia 2Ab - 2ACb - 2C). Esto ha permitido dividir a la Formación Las Lilas en dos miembros, uno superior **Seré**, y otro inferior **Santa Inés**. En el miembro Seré aparece intercalado a una profundidad aproximada de 0.20-0.30m, una capa de ceniza volcánica de 0.005 a 0.10m de espesor proveniente de la erupción del Volcán Quizapú de la Cordillera de los Andes, ocurrida en 1932.

En la Tabla 2.3 se presenta un esquema adaptado Dillon *et al.* (1985) sobre la correspondencia arriba indicada entre unidades litoestratigráficas, unidades pedoestratigráficas, y unidades geomórficas.

Tabla 2.3 Unidades litoestratigráficas, unidades pedoestratigráficas, y unidades geomórficas (adaptada de Dillon *et al.*, 1985)

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES PEDOESTRATIGRÁFICAS	UNIDADES GEOMÓRFICAS
Formación Las Lilas	Miembro Seré	Pedodermo	Médanos Mantos Someros Depresiones Int. Cubetas de Delf.
	Miembro Santa Inés	Geosol La Cabaña	
Formación Carlos Tejedor		Geosol La Maroma	Mantos Someros
Formación Hereford		Geosol Aguará	Médanos (?) Mantos Someros Depresiones Int. Cubetas de Delf.

Clasificación taxonómica, limitantes y aptitud de uso de los suelos del área

En la Tabla 2.4 se presentan los principales subgrupos de suelo de la región extraídos del Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires (1:500,000) (SAGyP-INTA, 1989) clasificados según

el criterio de clasificación taxonómica "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff , 1999), y agrupados en función de la *susceptibilidad a la sequía (cantidad de agua insuficiente para el normal desarrollo de actividades frecuentes en el área de estudio)* efectuada sobre la base de considerar en forma exclusiva la influencia de tres características edáficas, que determinan la capacidad de retener agua en el perfil edáfico, y consecuentemente, lo asequible de agua para el cultivo. Este criterio no tiene en cuenta los efectos del clima y sistema productivo.

Las características del suelo que se consideran (PMI, 1999) relacionadas con la *capacidad de almacenamiento del agua* del suelo son:

- *profundidad efectiva* (muy somero <0.25m, somero 0.25-0.50m; moderadamente profundo 0.50-1.00m, y profundo 1.00-1.50m)
- *agua útil* (escasa 0-50mm/m; media 50-100mm/m; alta 100-150mm/m y muy alta 150-250 mm/m)
- *pendiente* (llana 0-2%; ligera 2-5%; moderada 5-10%; fuerte 10-16%).

Asimismo, en el Tabla 2.4, se presenta la aptitud productiva del suelo, evaluada según:

- 1.- **Indice de Productividad (IP)** definido por Riquier *et al.* (1970 en PMI, 1999)
- 2.- **IP promedio** obtenido mediante el procedimiento ALES en PMI (1999), y
- 3.- **Clase-Subclases de capacidad de uso (CU)**, traducción al español en Miaczynski, 1961) criterio utilizado en Cartas de Suelos INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, escala 1:50,000.

Tabla 2.4 Suelos del área de estudio agrupados en función de su susceptibilidad a la erosión, índice de productividad (IP) INTA y promedio

SUSCEPTIBILIDAD A LA SEQUÍA	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	SERIE	IP INTA	IP PROMEDIO
No susceptible	<i>Hapludol tapto argico</i>	Ortiz de Rozas	85	100
	<i>Haplustol udortentico</i>	Laboulage	64	72
	<i>Natrabol típico</i>	Castellano	22	32
	<i>Haplustol udico</i>	Leguizamón	89	90
	<i>Natracualf típico</i>	Amenabar	16	18
Ligera	<i>Hapludol tapto natrico</i>	Carlos Salas	16	0
	<i>Argiudol acuico</i>	Carabelas	80	80
	<i>Hapludol típico</i>	Junín	81	90
	<i>Hapludol acuico</i>	Fortín Tiburcio	85	95
Moderada a alta	<i>Hapludol entico</i>	Ameghino	54	54
	<i>Udipsament típico</i>	25 de Mayo	14	0
	<i>Haplustol entico</i>	Epecuén	86	73
	<i>Ustipsamente típico</i>	Las Chilcas	40	0
	<i>Haplustol típico</i>			

Limitantes de los suelos

Los suelos que prevalecen en el área, tienen como principal limitante una *baja capacidad de retención hídrica* en la zona radicular, y consecuentemente, una baja a moderada agua útil, definida como los milímetros de agua que pueden estar asequibles para la planta hasta un metro de profundidad, y en el caso de perfiles someros en todo el espesor del perfil que es de 0.50m en suelo muy somero y 0.75m en suelo somero. El agua útil, se calcula a partir de la humedad equivalente, densidad aparente y porcentaje de arcilla, resultando en promedio en suelo de loma menor a 50mm/m y de 50 a 100mm/m en la media loma.

Asimismo, estos suelos son propensos a la *erosión hídrica y eólica*, poseen una *fertilidad natural limitada*; con una CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) baja del orden de los 6-8cmol/kg de suelo, por *bajo contenido de materia orgánica y arcilla*; y en los sitios más bajos del

relieve, es característica la *alta salinidad* (mayor a 8-6dS/m de K), *alta alcalinidad* (mayor de 15PSI, por ciento de Na intercambiable) y *avenamiento pobre*.

Aptitud de uso del suelo

A continuación se describen sintéticamente los procedimientos de evaluación de tierras mencionados precedentemente, y un cuarto procedimiento indicado en PMI (1999), basado en la aptitud y limitante edáficas indicadas en punto anterior.

1- Índice de Productividad, IP es un sistema de Evaluación de Tierras Paramétrico, adaptado del método de FAO (Riquier, Bramaio y Cornet, 1970 en INTA, 1987). Sus resultados expresan numéricamente la capacidad productiva del suelo en una escala de 0 a 100, para un conjunto de cultivos representativos de la región, practicados a un determinado nivel tecnológico, siendo: 100-70 muy buena productividad; 70-50 buena productividad; 49-30 regular productividad, y menor a 20 baja productividad. Las letras A, B, C, D, E, F, indican sendas subregiones climáticas. Este valor, resulta de multiplicar valores asignados (factores) a las propiedades de los suelos vinculados a la productividad. Así, su valor se modifica en función de las limitantes de cada una de las propiedades seleccionadas e incluidas en la función final. El valor que aquí se presenta, para cada una de las series de suelo individual, puede interpretarse como un porcentaje de los rendimientos óptimos del cultivo de referencia, que para el área son: maíz, trigo, soya, girasol y pasturas base de alfalfa.

2-Índice de Productividad (IP promedio), el valor promedio del índice específico de cada cultivo calculado según el procedimiento de evaluación de tierras ALES (Sistema Automatizado para Evaluación de Tierras). La validación de los modelos Ales se efectúa tomando como base de comparación a los IP-INTA de las Series (PMI, 1999).

3-Capacidad de uso, en este sistema de clasificación están involucrados dos conceptos básicos, **capacidades y limitaciones**:

- *Capacidades*, es el potencial de la tierra bajo una práctica específica de manejo.
- *Limitaciones*, son características que afectan en forma adversa la capacidad.

Se reconocen tres categorías: Clase, Subclase y Unidad. Las **clases** poseen el mismo grado relativo de peligro o limitación, e indican la capacidad general del suelo para un uso agropecuario, el riesgo se hace progresivamente mayor de I a VIII. La **subclase**, indica el tipo de problema de conservación o limitación involucrada.

Clases

Clases I a III: tierras aptas para todo tipo de cultivos (I: sin limitación; II: ligeras, III: moderadas), y IV: tierra apta para cultivo limitado (severas limitaciones).

Clases V a VIII: tierras generalmente no aptas para cultivos (**V**: dificultad para el laboreo con maquinaria; **VI**: praderas naturales con posibles mejoras; **VII**: pastura natural, y **VIII**: fauna, vida silvestre).

Subclases: - **e**: erosión hídrica o eólica; **w**: exceso de agua; **s**: limitación de la zona radicular, y **c**: limitación climática.

4- Aptitud física de las unidades taxonómica de suelo para diferente uso: cultivos agrícola, pastura y forestación presentado por el PMI (1999), que considera: *Clases de aptitud del suelo y Subclases de Aptitud* (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Aptitud física de las unidades taxonómica de suelo para diferentes usos: cultivos agrícolas, pasturas y forestación presentado por el PMI (1999)

suelo	girasol	maíz	soya	trigo	Past. 1	Past. 2	Past. 3	CN	E. Camald	E. globulus	E. viminalis	P. deltoides
<i>Hapludol tapto argico</i>	MA, 8	MA, 8	MA,	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Hapludol tapto natrico</i>	NA, 5,6, 8	NA, 5,6, 8	NA, 5,6, 8	NA, 5,4	NA, 5,6,4	NA, 5,4,6.	A, 5	M, 5	NA, 5,6	NA, 5,4	NA, 5,6,4	NA, 5,6
<i>Argiudol acuico</i>	A, 4	A, 4	A, 4	A, 4	A, 4	A, 4	MA	MA	MA	A, 4	M, 4	MA
<i>Hapludol típico</i>	MA, 8,3	MA, 3,8	MA, 8	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Haplustol udortentico</i>	MA, 3,8	A, 3,4,8	MA	A, 4	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Natrabol típico</i>	NA, 7,5,4	NA, 7,5,4	NA, 7,5,4	NA, 5,4	NA, 5,4	NA, 5,4	M, 5,4	M, 5,4	NA, 5,4	NA, 4	NA, 4,5	NA, 5,4
<i>Haplustol udico</i>	MA	A, 4	MA	A, 4	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Hapludol entico</i>	M, 8,3,4	M, 4,8,3	M, 8,4	M, 4	M, 4	M, 4	A, 4	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Natracualf típico</i>	NA, 7,4,5	NA, 7,4,5	NA, 7,4,5	NA, 4,5	NA, 4,5,6	NA, 4,5,6	NA, 5,4	NA, 5,4	NA, 4,5,6	NA, 4,5,6	NA, 4,5,6	NA, 4,5,6
<i>Udipsament típico</i>	NA, 3,4,8	NA, 3,4,8	NA, 4,8	NA, 4	NA, 4	M, 4	M, 4	A, 4	MA	MA	MA	MA
<i>Haplustol entico</i>	A, 8,3,4	M, 4,8,3	A, 8,4	A, 4	A, 4	A, 4	A, 4	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Ustipsament típico</i>	NA, 3,4,8	NA, 3,4,8	NA, 4,8	NA, 4	NA, 4	M, 4	M, 4	A, 4	MA	MA	MA	MA
<i>Haplustol típico</i>	M, 4,8	M, 4,3,8	M, 4,8	M, 4	M, 4	M, 4	A	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Hapludol acuico</i>	A, 4,8	MA, 8	MA, 8	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA

Explicación

Pastura 1, a base de alfalfa (*Medicago sativa*); CN: campo natural; **Pastura 2**, a base de festuca (*Festuca sp.*) y trébol (*Trifolium sp.*); **Pastura 3**, a base de Agropiro “agropiro alargado” (*Thinopyron ponticum*) y Melilotus (*Melilotus sp.*).

E-P: *Eucaliptus camaldulensis*; *Eucaliptus globulus*; *Eucaliptus viminalis*; *Populus deltoides*.

Clases de aptitud del suelo para el desarrollo del vegetal:

MA: muy apto; **A:** apto; **M:** marginal; y **NA:** no apto

Subclases de Aptitud, indica el tipo de **limitante del suelo** para el desarrollo vegetal, ordenadas por su importancia:

1- Dificultades de enraizamiento por escasa profundidad efectiva; 2-inadecuado régimen térmico en el período de crecimiento; **3-** escasos nutrientes; **4-** condición de humedad del perfil inadecuada, déficit o exceso; **5-** exceso de alcalinidad; 6-exceso de salinidad; **7-** riesgo de erosión hídrica, y **8-** riesgo de erosión eólica.

Ejemplo: en la primer celda, para el cultivo de girasol, el suelo *Hapludol tapto árgico*, resulta muy apto (MA), y presenta como única limitante, riesgo de erosión eólica (8).

En punto 2.1.7.1, tabla se presentan los rendimientos de los cultivos, y pasturas, en los suelos indicados en Tabla 2.5.

2.1.3.2. Relación relieve – suelo

En este punto, se analiza con mayor detalle lo mencionado en puntos anteriores relativo al paisaje y suelo asociado. Así, en punto 2.1.2, se describió el referente geológico, la geomorfología e hidrología del área de estudio, indicándose presencia en superficie de formás eólicas que se reconocen en el paisaje a escala regional como unidades geomorfológicas mayores denominadas de *Medanos Longitudinales y Parabólicos* (Figura 2.1). Asimismo, sobre los médanos longitudinales, se describen unidades geomorfológicas menores denominadas

Médanos, Mantos, Mantos someros, Depresiones inter-medanosas, y Cubetas de deflación (Dillon *et al.*, 1985; Cabral, 1996) (Figuras 2.12, 2.13, 2.14). El suelo se formó a partir del material superpuesto arenoso reciente de espesor variable que experimentó diferente grado de evolución, y erosión, según el clima y posición en el relieve. Así, en períodos húmedos se caracteriza por un predominio de procesos pedo-genéticos intensos y en periodos secos por erosión y depósito (Giménez *et al.*, 1990).

Zamolinski (2001) indica que el material arenoso, asentado sobre limo arenoso de origen loessico y textura fina de época anterior, poco permeable, genera en el sitio de contacto de ambos materiales, un obstáculo que retiene el agua sub-superficial con carácter de freática. Así, este autor indica desde una perspectiva únicamente edáfica, que la capa freática depende del espesor del manto arenoso. Se mantiene lejos de la superficie en suelo profundo y aflora donde la cobertura es delgada. Asimismo, indica que en función de la discontinuidad en la conductividad hidráulica de los materiales superior y subyacente, en período de alta precipitación se produce permanencia de una falsa superficie freática que da origen a cementación de tipo fragipan (se ablanda en contacto con agua) (Soil Survey Staff, 1999), que impide la infiltración del agua, la difusión de aire y penetración radicular. Casas (2003), indica la presencia de una capa densificada a variada profundidad y en forma de lente de tipo discontinuo, pero destaca que dicha dureza es permanente, de tipo duripán (Soil Survey Staff, 1999) provocada por la concentración de cementantes como el FeO_2 y Mn , $CaCO_3$ y probablemente SiO_2 , cuando este impedimento se encuentra a menos de 0.45m el suelo aumenta su salinidad superficial. Esta visión de Zamolinski (2001) y Casas (2003) está limitada al funcionamiento del suelo dentro de un sistema que no incorpora a las componentes verticales de flujo del agua subterránea, y su repercusión en el tipo de suelo, así como en las condiciones del nivel freático y calidad del agua asociada.

Según Cabral *et al.* (1996), los principales suelos que aparecen en las distintas unidades geomórficas clasificadas según el sistema Soil Taxonomy son los siguientes:

Médanos: *Hapludol éntico*; Mantos: *Hapludol éntico* y *Hapludol típico*; Mantos someros: *Hapludol tpto árgico* y *tpto nátrico*; Depresiones intermedanosas: *Epiacuol tpto árgico* y *tpto nátrico*; y Cubetas de deflación: *Natracuol* y *Natracualf típico*.

Zamolinski (2001) en coincidencia con lo indicado precedentemente, destaca la relación suelo que a continuación se indica en la Figura 2.30.

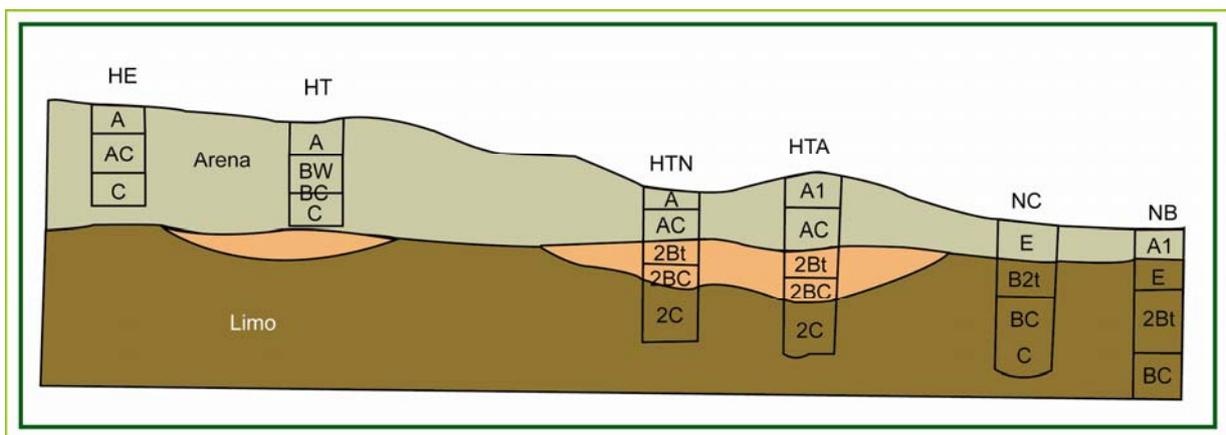


Figura 2.30 Distribución teórica de algunos sub-grupos de suelos (adaptada de Zamolinski (2001). (HE) *Hapludol éntico*; (HT) *Hapludol típico*; (HTN) *Hapludol tpto-nátrico*; (HTA) *Hapludol tpto-árgico*; (NC) *Natracualf típico*, y (NB) *Natralbol típico*

El *Hapludol éntico*, de textura arenosa, reacción neutra a ácida, algo excesivamente drenado y baja retención de humedad (HE) se desarrolla en sectores donde el espesor del manto arenoso es grande. El suelo *Hapludol típico* (HT), con mayor cantidad de material fino, textura franco-arenosa, reacción neutra a ácida, mayor capacidad de retención de agua y bien drenado, se desarrolla en las zonas ubicadas entre lomas, pero aún con relieve positivo, y en los sitios donde el relieve es suavemente ondulado y disminuye el espesor del manto arenoso aparece suelo que presenta una marcada discontinuidad entre horizonte, clasificados como *Hapludol tpto-árgico* (HTA). Este último suelo, con hasta 0.40-0.50m de profundidad, tiene horizontes (A-AC) de textura franca, débilmente ácido y con bajo contenido en materia orgánica, que se apoyan en forma abrupta sobre depósito mineral fino, franco-arcillo-limoso y moderadamente alcalino (horizonte Bt franco arcilloso). En los sectores planos o ligeramente deprimidos se presenta un suelo similar al mencionado en último término en cuanto a la secuencia de horizontes, pero el horizonte Bt es fuertemente alcalino o sódico, y se clasifica como *Hapludol tpto-nátrico* (HTN). Por último, en la posición más baja del relieve, constituyendo vías de escorrentía temporal, se ha desarrollado suelo de avenamiento pobre, elevada alcalinidad sódica, bajo tenor de materia orgánica y nivel freático somero (*Natracualf típico*, NC y *Natrabol típico*, NB).

En la Tabla 2.6 se presenta la distribución de suelo en las zonas agroecológicas 3, 4, 5 (ZAE). Se destaca, como se indicó, que la ZAE 4 es la que prevalece en el área de estudio según división efectuada por el PMI (1999) para la Cuenca del Río Salado.

Se aprecia que el suelo que prevalece en el área de estudio es el *Hapludol éntico*, teniendo representación mayoritaria en las zonas agroecológicas 4 y 5. En ambas zonas le sigue en importancia el *Hapludol típico*, teniendo ambos suelos escasa presencia en la zona agroecológica 3. Estos suelos, se ubican en los sitios más elevados, y se corresponderían a priori con zonas de recarga local al agua subterránea. Asimismo, otros suelos que se corresponderían con zonas de recarga, tales como *Haplustol éntico*, *Haplustol típico*, *Udipsament típico*, y *Ustipsament típicos*, se presenta en extensas zonas del área de estudio.

Tabla 2.6 Distribución de suelos en las zonas agroecológicas 3, 4 y 5

Suelo	ZAE 3		ZAE 4		ZAE 5	
	AREA km ²	%	AREA km ²	%	AREA km ²	%
<i>Hapludol tpto argico</i>	1.29	0	3727.06	12.7	421.72	2.5
<i>Hapludol tpto natrico</i>			771.64	2.6		
<i>Argiudol acuico</i>			1038.87	3.5		
<i>Hapludol típico</i>	1.48	0	2869.89	9.7	3810.24	23.0
<i>Haplustol udortentico</i>			98.27	0.3		
<i>Natrabol típico</i>			250.40	0.8	0.56	0.0
<i>Haplustol udico</i>			39.31	0.1		
<i>Hapludol éntico</i>	4.63	0	4770.54	16.2	6068.59	36.7
<i>Natracualf típico</i>	0.86	0	988.69	3.3	806.74	4.9
<i>Udipsament típico</i>	1.00	0	3.31	0.0	642.91	3.9
<i>Haplustol éntico</i>			768.17	2.6	1402.38	8.5
<i>Ustipsament típico</i>	297.68	1.6	460.90	1.6	851.51	5.1
<i>Haplustol típico</i>			307.27	1.0	334.38	2.0
<i>Hapludol acuico</i>	221.07	1.2	534.53	1.8	0.37	0.0
Lagunas	60.93	0.3	244.91		31.89	

En relación con los suelos que podrían corresponderse con zonas de tránsito de agua, se destacan: *Hapludol tpto árgico* y *nátrico*, *Argiudol ácuico*, todos con muy importante presencia en la zona agroecológica más representativa del área de estudio (ZAE4), agregándose a esta zona y a la número 5 el suelo *Hapludol ácuico*.

En zonas de *descarga de agua*, los suelos característicos son los *Natracuolf típicos*, y con algo menor representación el *Natracuol típico*.

2.1.3.3. Relación relieve - suelo - vegetación natural.

Como se indicó precedentemente en punto 2.1.2, Gabellone *et al.* (2003) realizan una zonificación de los ecosistemas y establecen cuatro sub-regiones pampeanas, que están relacionadas con la Cuenca del Salado, las que a su vez se han dividido en las siguientes unidades: I-Pampa deprimida; II-Pampa deprimida y Pampa austral; III-Pampa deprimida y Pampa ondulada; *IV-Pampa interior*; y V- Pampa Austral (Figura 2.7). El sector del presente estudio se ubica en la zona IV, en la sub-región 8, denominada *Pampa Arenosa*. En este punto, se analiza la vegetación natural que se asocia con los ambientes presentes en la sub-región de referencia.

Gabellone *et al.* (2003) consideran que respecto a la *vegetación natural* que caracteriza los diferentes ambientes de la región, por su posición y nivel de *salinidad-alcalinidad* que tolera se agrupan como se indica a continuación:

- En los **relieves positivos** prevalece la **pradera mesófit** de *Stipa trichotoma*, *Briza subaristata*, *Stipa neesiana* y *Botriochloa laguroide*.
- En las **partes bajas con problemas de avenamiento sin sodicidad**, en general en cubetas circulares con algunos centímetros de agua todo el año; **pradera de hidrófilas**, integrada por: *Ludwigia peploides*, *Solanum malacoxylon*, *Polygonum punctatum*, *Glyceria multiflora*, *Echinochloa helodes*.
- En los **suelos con alta salinidad y sodicidad** desde superficie o muy cerca de la superficie, prevalece la **estepa de halófitas** con dominancia de *Distichlis*; y en los extremos más salino-sódico, dominan especies de los géneros *Spartina* y *Salicornia*.

Diversos autores en Oesterheld *et al.* (2005), analizan la heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, con especial hincapié en la provincia de Buenos Aires.

Burkart *et al.* (2005) describe para las grandes sub-regiones en que divide la provincia de Buenos Aires (Pampa ondulada, Pampa deprimida, Pampa interior y Pampa austral) las cuatro unidades de vegetación que prevalecen: *pradera mesófit*, *pradera húmeda de mesófit*, *pradera hidrófit*, y *estepa halófit*. Destacan que en general en todos los paisajes de la provincia está contenida la mayor parte de la heterogeneidad de la vegetación descrita para toda las sub-regiones, por lo que las comunidades no son marcadamente diferentes dentro de dichas sub-regiones, lo que varía es la proporción de estas comunidades dentro de cada ambiente.

Batista *et al.* (2005) indican que a escala de paisaje la heterogeneidad florística de la Pampa Deprimida (PD), está asociada a la heterogeneidad geomorfológica y edafológica. El pastizal está constituido por un mosaico de grupos vegetales de superficie variable entre algunas decenas de metros cuadrados a varias decenas de hectáreas, siendo los límites claros y composiciones relativamente homogéneas dentro de cada grupo. A su vez, los grupos de las diferentes tipos de comunidades ocupan posiciones más o menos determinadas en el paisaje y se corresponden con un suelo definido. Las asociaciones que estos autores indican para la PD, son semejantes a los indicados para el noroeste bonaerense por Gabellone *et al.* (2003), Casas (2003), y coinciden con los indicado por Chaneton (2005), respecto a que la humedad y salinidad son los dos factores primordiales en la distribución de la vegetación.

Estos últimos autores establecen las siguientes asociaciones entre tipo de comunidades, geoforma y grandes grupos de suelos:

- pradera mesófitas, en áreas convexas o con relieve positivo, prevalecen depósitos eólicos, suelo Argiudol, Hapludol, y Natracuol.
- pradera húmeda de mesófitas, planicies ligeramente sobresalientes, suelo Natracuol y Natralbol.
- pradera de hidrófitas o vegas de cyperáceas, en áreas planas con relieve plano o plano cóncavo frecuentemente anegado, suelo Argialbol y Argiacuol.
- estepa de halófitas, planicies deprimidas, bordes de depósitos eólicos o lagunas, suelo Natracualf.

En punto 2.1.4, se describe con mayor detalle la composición de estas comunidades, y tipos de suelos asociados con especial referencia al noroeste bonaerense.

Krüger (1992) presenta algunas especies que actúan como indicadoras de salinidad, junto con rangos de conductividad eléctrica (dS/m) donde en forma habitual se desarrollan (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Especies que actúan como indicadoras de salinidad (CE, conductividad eléctrica)

CE (dS/cm)	Vegetación nativa o naturalizada
4 a 7	<i>Trifolium repens</i> (trébol blanco) <i>Conyza bonariensis</i> (rama negra) <i>Lamiun amplexicaule</i> (ortiga mansa) <i>Lolium sp</i> (raigrás)
7 a 10	<i>Rumex crispus</i> (lengua de vaca) <i>Cynodon dactylon</i> (Gramilla)
10 a 14	<i>Chenopodium quinoa</i> (quinoa) <i>Matricaria chamomille</i> (manzanilla) <i>Kochia scoparia</i> (morenita)
14 a 20	<i>Thinopyron ponticum</i> (agropiro) <i>Cynodon dactylon</i> (gramilla) <i>Setaria sp</i> (cola de Zorro) ¿?-
20 a 30	<i>Distichlis sp</i> (pelo de chancho) <i>Suaeda divaricata</i> (vidriera) <i>Salicornia sp</i> (Jume)

Asimismo, en MAA (1987a y 1987b); Casas (2003), tal como se describe en punto siguiente, relativo a degradaciones, dan valor límite de salinidad para el desarrollo vegetal y características edáficas diagnósticas de sus limitantes productivas.

Bayón (inédito, comunicación personal) caracterizó el ambiente natural de la Cuenca del Río Salado en lo que denominan *Ecosistemas Terrestres* con base en las variables: suelo, profundidad a la superficie freática y fisonomía vegetal. El detalle de las comunidades vegetales se indica en el punto relativo a vegetación (2.1.4). Aquí, se presenta en la Tabla 2.8 asociaciones principales entre suelo, comunidad vegetal dominante, y posición en el relieve, elaborada a partir de la información de diversos sitios de 9 de julio, Carlos Casares, y Pehuajó. En relación con el suelo se indica, tipo de suelo, pH, conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción sodio (RAS), en superficie (0.0-0.20m) y sub-superficialmente (0.20-0.40m); y se indica profundidad de la superficie freática (SF).

No obstante, las asociaciones entre comunidades naturales, suelos y relieve que se mencionan en párrafos anteriores, en la actualidad, en la región, todos los ambientes aptos para ser cultivados o pastoreados ya han sido incorporado a los sistemas productivos, e incluso aquellos ambientes no aptos para la producción, son los que más han sido afectados por las inundaciones consecuentemente en la mayor parte del área la vegetación es implantada, con malezas asociadas a los cultivos y degradaciones producidas por dichos sistemas productivos o por las inundaciones, siendo entonces comunidades de sucesión secundaria (en punto 2.1.4, se indica el significado de este concepto).

Tabla 2.8 Asociación principal entre suelo, comunidad vegetal, y posición en el relieve

Sitio	Comunidad vegetal	especie dominante	posición	suelo	pH sup/ subs	CE sup/ subs	RAS sup/ subs	prof. SF
1	malezas	<i>Cynodon dactylon</i>	bajo entre lomadas medianosas	Natracuol típico	9.4/ 9.5	0.76 /2.5	9.3 / 28	100
2	malezas	<i>Conyza bonariensis</i> , <i>Melilotus indicus</i> , y <i>Poa annua</i> .	media loma plana	Hapludol típico	8.8 /9.1	< 1	8.6/ 11.4	> 200
3	malezas	<i>Cerastium glomeratum</i> y <i>Gamochoaeta coarctata</i>	lomada medianosa	Hapludol éntico	6.0 / 6.8	0.3	< 1	200
4	Pradera implantada	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Medicago sativa</i> y <i>Festuca arundinácea</i>	lomas	Hapludol éntico	6.1/ 6.2	0.2 /0.15	0.4/0.2	200
5	Pradera implantada	<i>Festuca arundinácea</i> , <i>Trifolium pratense</i> , y <i>T.repens</i>	bajo entre lomadas	Hapludol típico	6.1/ 6.4	0.3 / 0.2	0.6/0.7	>200
6	Pradera implantada	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Medicago sativa</i> y <i>Festuca arundinácea</i>	media loma	Hapludol típico	6.0/ 6.1	0.3 / 0.2	0.6 / 0.5	> 200
7	Estepa halofita	<i>Puccinellia glaucescens</i>	bajo entre lomadas	Natracuol típico	9.1/ 9.2	4.14 / 3.7	35 / 38	70
8	Estepa halofita	<i>Distichlis spicata</i>	bajo o llano tendido	Natracuol típico	9.0/ 9.4	1.43 / 2.26	13/22	110
9	Estepa halofita	<i>Sarcocornia perennis</i> y <i>Distichlis spicata</i>	bajo próximo a laguna	Natracuol típico	9.0/ 9.1	13.6 / 9.7	47 / 50	60
10	Estepa halofita	<i>Distichlis spicata</i>	bajo tendido entre lomadas	Natracualf típico	7.8 / 8.3	5.06 /8.35	37 / 50	190
11	Pradera mesófito, malezas y forrajeras	<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Bromus catharticus</i> y <i>Festuca arundinaceae</i> y <i>Ambrosia tenuifolia</i>	loma medianosa	Hapludol taptó nátrico	6.5/7.5	0.6/ 1.96	6.6/14	200
12	malezas-forrajeras	<i>Distichlis spicata</i> , <i>Baccharis juncea</i> y <i>Festuca arundinacea</i>	bajo	Hapludol taptó nátrico	7.7/ 7.2	5.2 / 3.2	41 / 18	200

2.1.3.4. Degradación edáfica e hídrica, y su recuperación

Se presenta a continuación un esquema general de tipos de degradación edáfica:

- **Física.**- compactación, erosión, excesos o falta de agua, desertificación.
- **Química.**- déficit o exceso de nutrientes, acidificación, por desequilibrio nutricional natural o inducido por el hombre que produce fenómenos de antagonismo, toxicidad, y contaminación.
- **Físico-químicas.**- salinización y alcalinización (pH, CE, RAS o sodicidad como porcentaje intercambiable de Na).
- **Biológicas.**- disminución de materia orgánica, y de biodiversidad.

La degradación del suelo ha sido definida como un descenso en la habilidad del suelo para cumplir sus funciones como medio para el crecimiento de las plantas, como regulador del

régimen hídrico, y como *filtro ambiental*, debido a causas naturales o antropogénicas (Pla Sentis, 2005). Este autor señala que la degradación de suelo y agua, son los principales factores que atentan contra la sostenibilidad de la utilización agrícola de la tierra en América Latina, lo que conduce a crecientes dificultades para producir los requerimientos de la población. Como efectos indirectos de degradación se aumenta el riesgo de inundación, sedimentación, deslizamiento de tierra, disminución de la biodiversidad, deterioro de la cantidad y calidad agua, y efecto en el clima global. Asimismo, estos procesos de degradación del suelo y agua, son conducentes a la denominada “*desertificación de tierras*”, y están fuertemente asociados con cambios desfavorables en procesos hidrológicos responsables del régimen de humedad del suelo, que a su vez están afectados por las condiciones climáticas variantes, y los cambios en el uso y manejo de elementos de la naturaleza.

Pla Sentis (2005) indica además, que si bien, la degradación de suelo y agua se debe en general a su uso y manejo inadecuado, generado por crecientes presiones sociales, económicas y políticas, derivadas del crecimiento demográfico, políticas de mercado internacional, falta de recursos y deuda externa de los países en vías de desarrollo, en muchos casos, la adopción de sistemas integrales sostenibles del manejo del suelo-agua, se ve limitado por deficiencias en el conocimiento de los procesos hidrológicos asociados, y por la ***utilización de metodologías inadecuadas para la evaluación y monitoreo de dichos procesos.***

Consecuentemente, no obstante de no existir duda sobre lo fuertemente ligados que están los procesos de degradación del suelo y agua con alteraciones desfavorables en los procesos hidrológicos que determinan el régimen de humedad del suelo, tanto a nivel de sitio como de cuenca hidrográfica, y que a su vez, esto se modifica por las características del suelo, clima, uso y manejo del trinomio, suelo-agua-planta; aún en la mayoría de los estudios se evalúan en forma separada, y en consecuencia, la predicción y prevención de efectos derivados de su degradación resultan inadecuados en muchos casos. Esto aún reviste más importancia, considerando que se prevé que el cambio climático global afectará principalmente a los *procesos hidrológicos* en la superficie de la tierra que están en su mayoría relacionados con el régimen de agua en el campo (Pla Sentis, 2005).

La presencia de degradaciones en el área de estudio, se asocia con características naturales y frecuentes, que se ven aceleradas o atenuadas, en función de la ocurrencia de eventos climáticos y de la acción antrópica.

A continuación se presentan las principales degradaciones *observadas en el área de estudio* según diversas fuentes:

Erosión hídrica

La erosión hídrica, es definida por Pla Sentis (2005), como el proceso de degradación edáfica que tiene mayor influencia sobre la conservación del suelo y agua, y es causada por la interacción del suelo, lluvia, pendiente, cubierta vegetal y manejo. Indica además, que generalmente provoca o es causada por cambios desfavorables en el régimen de humedad del suelo, y en la posibilidad de desarrollo y actividad radicular. La erosión del suelo tiene efectos negativos directos sobre el crecimiento de la planta y producción de cultivos; y efectos indirectos como aumento de riesgo de inundación, sedimentación, deslizamiento de tierra, etc., a veces con carácter catastrófico. Los motivos de la erosión son diversos: deforestación, introducción de cultivos estacionales que dejan el suelo desprotegido, intensificación o abandono de actividad agrícola, sistema productivo con sistema de labranza y conducción del cultivo sin la implementación de técnicas de conservacionistas, sobrepastoreo animal, entre otros.

Específicamente para el área de estudio, la erosión hídrica, ha sido mencionada en el resumen final de las Jornadas de Manejo Agronómico para zonas inundadas en la Provincia de Buenos

Aires, como la degradación de tipo permanente más importante asociada con las inundaciones de la década de 1970-80 (Fundación Cargill, 1980). Se indica en dicho informe, la forma en que las inundaciones afectan la capacidad productiva del suelo, e indican dos tipos de daño: permanentes (erosión hídrica, pérdida irreversible de condiciones de fertilidad), y transitorios o temporarios (la condición del suelo se retrotrae a su condición inicial, previo a la inundación) siendo los daños en general de tipo temporarios, con excepción de la erosión hídrica. El daño por erosión hídrica se produce por el arrastre de una capa de tierra fértil del horizonte superior por el agua de escorrentía, siendo poco importante en la zona deprimida, y en los sitios donde el movimiento del agua es lento. Por el contrario, en los bajos se presenta un tipo de daño derivado de la erosión (agua arriba) que es el depósito de sedimento de otras zonas, produciendo sellado de poros, encostramiento y alteración de las condiciones mecánicas del suelo (Fundación Cargill, 1980). Sin embargo, no se presentan valores que avalen lo indicado, y si bien, es coincidente parcialmente con otros autores, discrepa en conclusiones tales como que se “retrotrae a la situación inicial”. Asimismo, se produce erosión en las depresiones inter-medanasas, y otras degradaciones importantes, tales como encostramiento, destrucción de la estructura, y salinización; esto impide totalmente el crecimiento vegetal, aunque esto sucede en forma variable, según sean zonas de recarga o descarga, local o regional.

En Figura 2.31 se presenta una vista general de una depresión inter-medanosa, con agua y luego de retirada el agua de inundación (aproximadamente 2 años sin agua).



Figura 2.31 Depresión inter-medanosa, con agua y luego de retirada el agua de inundación, con detalle del suelo seco

Salinización o alcalinización

En el informe efectuado bajo las Jornadas de Manejo Agronómico en zonas inundadas (Fundación Cargill, 1980) no se le adjudica la importancia, que en publicaciones posteriores y a la luz de los resultados obtenidos, se otorga a estos procesos degradativos de salinización y alcalinización, en la disminución de la productividad de la tierra. Así, en las jornadas de referencia, se concluye que en los sitios donde naturalmente ya existía nivel importante en Na y sales, serán poco o nada afectados por una inundación, no es de esperar que ocurran daños permanentes por salinización en zonas donde anteriormente no ha existido este problema. Esto último, es coincidente con lo señalado por Zamolinski (2001).

MAA-INTA (1986), MAA (1987a y 1987b), Zamolinski (2001) y Casas (2003) respecto a la **salinización-alcalinización**, indican que es el proceso de degradación más importante asociado al exceso hídrico en la región, destacando la existencia de una recuperación natural (sucesión secundaria vegetal), y la práctica de manejo que pueda realizarse en función del grado de deterioro alcanzado, y profundidad de la superficie freática (punto 2.3).

Zamolinski (2001) indica que los suelos de uso agrícola-ganadero, ubicados en los sectores más altos en el relieve, clasificados como *Hapludol éntico* y *Hapludol típico*, difícilmente son afectados por alcalinización o salinización. Por el contrario, el *Hapludol tpto árgico*, también de uso agrícola-ganadero, si bien se puede alcalinizar o salinizar, en general presenta rápida recuperación cuando se restablecen condiciones climáticas medias.

Por el contrario, los restantes sub-grupos de suelo, son afectados por este proceso degradativo, y su recuperación es lenta, dificultosa y aleatoria, depende principalmente de la evolución de las condiciones climáticas. Así, los suelos con alto contenido de Na, presentan condiciones limitantes naturales que se agravan cuando se efectúa pastoreo inadecuado del pastizal natural, con pérdida de cobertura vegetal, incremento en la evaporación, y si la superficie freática se encuentra cercana al suelo, se posibilita que la superficie compactada, con mayor densidad aparente y microporosidad estructural, se conecte capilarmente con dicha agua freática y asciendan sales que se depositan en superficie. En estas circunstancias, prevalece el gramón (*Cynodon dactylon*), pelo de chancho (*Distichlis spicata*) y espartillo (*Spartina densiflora*) que dominan a medida que el relieve se hace más bajo, siendo a menudo la única especie forrajera presente.

Casas (2003) indica que los fenómenos capilares para suelo de textura franca a franca arenosa, comienzan a manifestarse con intensidad cuando la superficie freática se encuentra por encima de 1.0m de profundidad. El contenido de sal de la superficie freática es muy variable, entre 10 y 12 dS/m de conductividad eléctrica, y pH próximo a 8. Bajo estas condiciones el contenido salino del agua subterránea es determinante de la salinidad del perfil completo del suelo. La salinidad se concentra en superficie en cuanto más seco sea el clima y más cercana se encuentre la superficie freática, dependiendo asimismo de la salinidad que ésta posea. Así, en verano la salinidad en la superficie del suelo adquiere 4-6 veces la salinidad del agua freática.

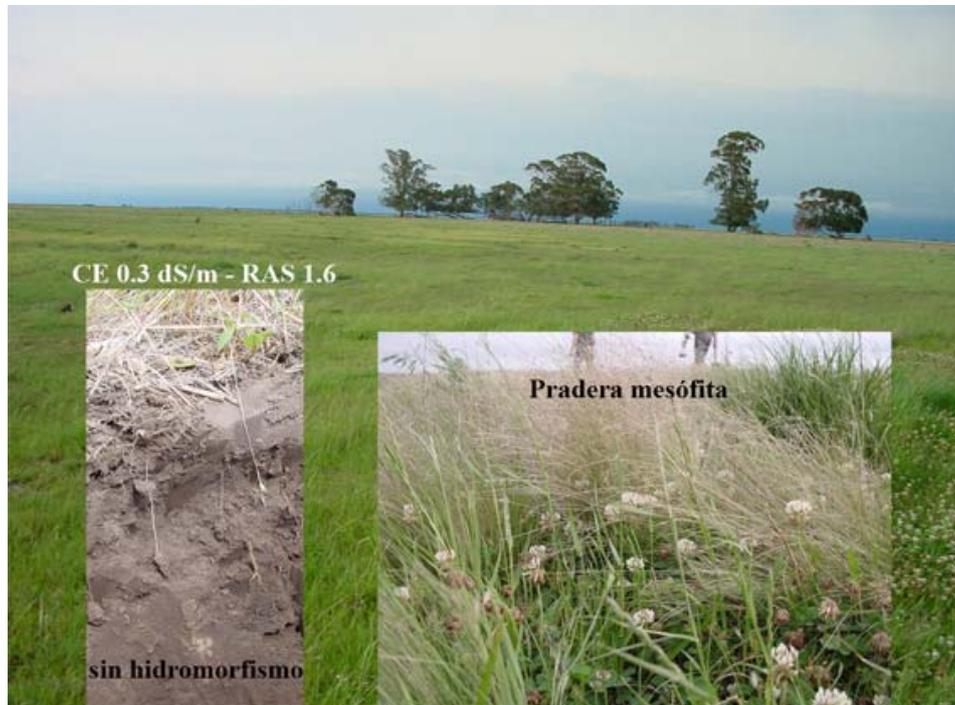


Figura 2.32 Ambiente de loma, sin salinidad, suelo *Hapludol éntico*, con pradera mesófitas (*Trifolium repens*, *Brizas sp*, *Bromus sp*) no afectado por la inundación



Figura 2.33 Ambiente bajo, con suelo alcalino, salino, afectado por la inundación, con desarrollo de humatos sódicos y desarrollo de pradera halófila (*Distichilis sp.* y *Salicornia sp.*)

MAA (1987a y 1987b); Casas (2003) indican que si la superficie freática se mantiene profunda, >1.0m, durante varios años, la lluvia normal (media general de 800-850mm aproximadamente, en punto 2.1.5 de la región, reducen en forma considerable el contenido salino del suelo, aún en horizontes sub-superficiales. Estas publicaciones indican tres **valores límite de salinidad para el desarrollo vegetal**: i) 8dS/m, menor desarrollo y variaciones en la composición florística; ii) con 12dS/m, se inhibe el desarrollo y aparecen manchones sin vegetación y iii) con 20dS/m generalmente aparecen costras salinas, y los manchones de humato sódico se dan con pH 10. En Figura 2.32 se presenta un ambiente de loma, sin salinidad, suelo *Hapludol éntico*, con pradera mesófila, no afectado por la inundación, y en Figura 2.33 un ambiente bajo, con suelo alcalino, salino, afectado por la inundación, con desarrollo de humatos sódicos y desarrollo de pradera halófila (*Distichilis sp* y *Salicornia sp*).

Erosión eólica

En el informe efectuado por la Secretaría de Agricultura de la Nación, relativo a la degradación edáfica detectada en la Argentina (SAGyP-CFA, 1995) se indica para la región **Pampa Arenosa**, que sus ecosistemas son frágiles, los suelos son de textura gruesa, bien a excesivamente arenados, con baja capacidad de retención de humedad, bajo valores de materia orgánica, son propensos a sufrir **erosión eólica**, principalmente los ubicados en *Médanos* y *Crestas de Lomas* arenosas donde dominan el *Hapludol típico*, *Hapludol éntico*, y *Udipsament típico* en los sectores más prominentes.

En relación con esta degradación, la Tabla 2.4 (Punto 2.1.3) relativa a la susceptibilidad a la sequía de los subgrupos de suelo, puede establecerse igual criterio para definir el riesgo a erosión eólica, debido a la vinculación mencionada entre suelo-vegetación-relieve-unidad hidrogeológica. Así, suelo de moderada a alta susceptibilidad a la sequía, es de mayor peligro de erosión, y se vincula con zonas más elevadas del relieve, con recarga de sistemas locales de agua subterránea.

Degradación química asociada a la degradación física y sobre-utilización del suelo

Según el informe de la Fundación Cargill (1980) otro daño temporario a destacar es la degradación de la **fertilidad química del suelo** asociada a su **degradación física** (condiciones de dotación y abastecimiento respectivamente). Así, los nutrientes serán afectados principalmente en su cantidad presente por la disminución de la aireación edáfica ante el anegamiento (abastecimiento) más que en su contenido total (dotación, cantidades de nutrientes medidos en laboratorio). Así, en un suelo anegado, la difusión de gases en la fase líquida edáfica es muy lenta, disminuyendo drásticamente el ritmo de difusión de oxígeno, aumentando la concentración del anhídrido carbónico y condiciones reductoras (potencial de óxido-reducción disminuye y se hace negativo) debido a la anaerobiosis imperante. Esto afecta principalmente los nutrientes que tienen más de un estados de valencia, y son tomados por las plantas principalmente en uno o dos de dichos estados, tal como sucede con el nitrógeno, hierro, manganeso, azufre (Wild, 1992). Si bien en este punto, se hace referencia al anegamiento como causante de déficit o excesos en la nutrición, tal como se discute en párrafos posteriores, el anegamiento y procesos resultantes se traducen en la presencia de rasgos hidromórficos: moteados y concreciones de hierro y manganeso; colores gley, desarrollo de horizontes E de eluviación extrema (horizontes álbicos) (Soil Survey Staff, 1999). En Figura 2.34 se presentan rasgos hidromórficos, moteados y concreciones de hierro y manganeso en un horizonte eluvial álbico.

SAGyP-CFA (1995), también destacan los importantes procesos de anegamiento e inundación por elevación de la superficie freática debido al ciclo húmedo que atraviesa el noroeste, no obstante, indican que la degradación química tiene además un origen atribuible al mal manejo de la tierra que se inicia con la denominada “*agriculturización*” del área ante las excepcionales condiciones climáticas que permitieron incorporar tierra ganadera a la explotación agrícola. Así, se produjo una utilización excesiva de insumos, y degradación de tierra naturalmente frágil, con pérdida paulatina de la fertilidad del suelo, tanto física como química. Desde el punto de vista físico se observa un deterioro en la estructura edáfica que afecta, entre otras características, a la infiltración y permeabilidad del suelo. Desde el punto de vista químico se ha llegado en muchos sectores a deficiencias marcadas de fósforo, nitrógeno, reducción de materia orgánica, y leve acidificación en el horizonte superficial (PMI, 1999).

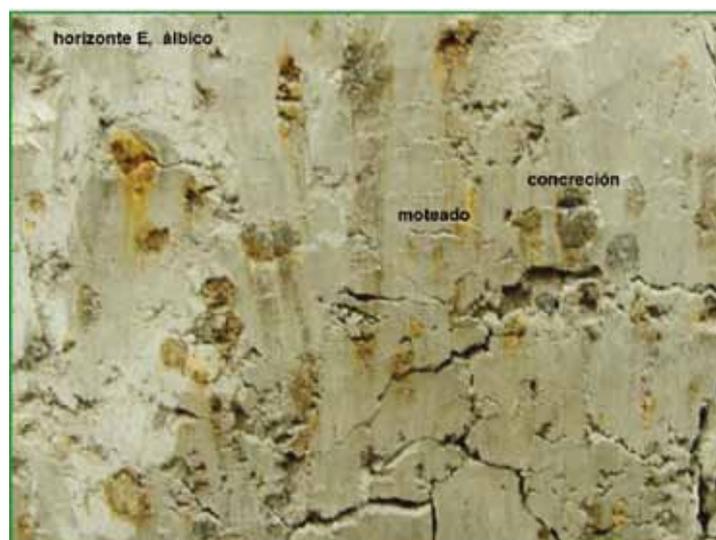


Figura 2.34 Rasgos hidromórficos, moteados y concreciones Fe-Mn en horizonte eluvial álbico

RIAP (2007) destaca para toda la región Buenos Aires norte, que incluye el noroeste bonaerense, que el principal problema ambiental es la degradación físico-química del suelo bajo agricultura continua realizada sin la utilización de prácticas conservacionistas y la

preponderancia de modelos productivos con monocultivo de soya. Así, el balance de carbono y nutrientes es negativo, con pérdida de la estabilidad estructural, compactación de la superficie del suelo y acidificación de sectores altos. Además se indica que existe riesgo de erosión hídrica, contaminación ambiental por uso inadecuado de agroquímicos, incorrecto manejo de envases de plaguicidas en producción agrícola y efluentes derivados del confinamiento animal, aumentando el riesgo de contaminación del agua subterránea.

Asimismo, en este informe, se indica que si bien aspectos relacionados con el uso del suelo, tal como el monocultivo de soya, dependerá en buena medida de la evolución del precio relativo, será indispensable contar con tecnologías alternativas para paliar efectos negativos de la agriculturización realizada sin la utilización de prácticas conservacionistas (RIAP, 2007).

Consecuentemente, se observan grandes superficies con variable nivel de afectación: subanegada e inundada, salinizada, alcalinizada, enmalezada, degradada física y químicamente por acción natural y antrópica.

2.1.4. Vegetación

En el punto 2.1.3.3, se hizo mención a la relación principal entre vegetación, suelo y relieve en el área del presente estudio. En este punto, se amplían aspectos generales y particulares de la vegetación en la región del noroeste bonaerense, y como ésta evoluciona en función de las variables naturales o antrópicas.

En la *Región Pampeana Argentina* no obstante su relativa uniformidad topográfica, climática, e incluso de vegetación, es posible reconocer sub-regiones con características propias. Así, aunque las estepas, praderas herbáceas, pajonales de hidrófitas y algunas vegas de ciperáceas, son comunes a toda la pampa, cada una de las sub-regiones presenta distinta proporción de comunidades vegetales que integran el tipo de vegetación existente. En el PMI (1999) se indican que para la cuenca hidrográfica del río Salado, debido a su extensión, las comunidades vegetales se relaciona directa o indirectamente con las cuatro pampas principales: *Pampa Deprimida*, *Pampa Interior*, *Pampa Austral*, *Pampa Ondulada*. El área que nos ocupa en la presente tesis, se ubica en la denominada Pampa Interior, caracterizada por los materiales arenosos superficiales.

En Anexo A-2, punto A-2.1, se indican algunos **conceptos básicos relativos a la vegetación**, que permitirán analizar la fisonomía de la vegetación y sus implicancias en el contexto de la presente tesis.

A continuación, se describen las especies que se consideran en cada una de las comunidades vegetales descritas para la *región de Pampa Interior*, que es donde se ubica el noroeste bonaerense en la caracterización por vegetación que presenta el PMI (1999):

I- Pradera de mesófitas, en relieve positivo, loma, suelo en posición alta del relieve (suelos: *Argiudol*, *Cuarzipsament*, *Hapludol tpto árgico*, *Torripsament*, *Haplustol*, *Argiustol*), las especies de vegetación más características en esta unidad en toda la Pampa Interior son *Stipa trichotoma*, *Briza subaristata*, *Stipa neesiana* y *Botriochloa laguroides*. En la parte occidental de la Pampa Interior, las especies más características de esta comunidad son *Macrosiphonia petrea*, *Thelesperma sp.*, *Elyonurus muticus*, y *Sorghastrum pellitum* (Figura 2.32).

II- Pradera húmeda de mesófitas, de superficie plana y extendida o ligera depresión en las que el drenaje tiene algunas limitaciones y en donde existen rasgos de sodicidad en horizontes subsuperficiales (suelos: *Natracuol*, *Natralbol*, *Natrustol*, *Hapludol tpto nátrico* y *Duracuol nátrico*). Son sitios que se inundan regularmente por períodos de pocos días hasta varias

semanas: en la mayoría de los casos, son encharcamiento o inundación de no más de pocos centímetros de agua por encima del nivel del suelo sobre los que se asienta esta unidad.

Las especies más características de estas comunidades son *Danthonia montevidensis*, *Mentha pulegium*, *Eclipta bellidioides*, *Leontodon taraxacoides*, *Ambrosia tenuifolia*, *Alternanthera philoxeroides*. Se trata de una unidad heterogénea ya que abarca desde comunidades sujetas a inundación mínima y poco frecuente, que retiene una buena parte de especies características hasta comunidades en las que la inundación es prácticamente anual y de varias semanas de duración y que carece de las especies características de la unidad I e incorpora especies de ambiente muy húmedo, como *Leersia hexandra*, *Paspalidium paludivagum*, *Paspalum vaginatum*. Asimismo, debido al alto nivel de Na sub-superficial del suelo en que se ubica, esta comunidad incluye especies características de ambiente halomórfico, como *Distichlis* sp.

III- Pradera de hidrófitas, esta unidad corresponde con comunidades que ocuparían suelo con mayor problema de avenamiento, aunque sin rasgos de sodicidad superficial o sub-superficial (suelo: *Argiacuol*, *Argialbol*, *Cromudert acuéntico*, *Calciacuol* y *Udfluvent*). Se restringe en general a cubetas generalmente circulares en las que permanecen decenas de centímetros de agua en superficie por largo período, todos los años. También se las encuentra en forma de anillo, alrededor de cuerpos de agua permanente o de titoral o juncal. Es una comunidad de amplia distribución en la región, aunque muy atomizada en cada ambiente, dentro del cual muy posiblemente resulta de crucial importancia para la vida silvestre que depende de cuerpos de agua (aves, anfibios, etc.). Carece de especies pertenecientes a la unidad I, pero pueden poseer muchas de las especies del extremo más húmedo del gradiente de comunidades que compone la unidad II. Sin embargo, esta *unidad III* se diferencia claramente de aquella por la alta abundancia de esas especies, como *Ludwigia peploides*, *Solanum malacoxylon*, y por el agregado de algunas casi exclusivas, como *Glyceria multiflora*, *Polygonum punctatum*, *Echinochloa helodes*.

IV. Estepa de halófitas, asociada con áreas planas, tendidas, a pequeños manchones, anillos alrededor de ambiente húmedo, y ocupando suelo con alto nivel de salinidad y sodicidad desde la superficie o muy cerca de la superficie (suelo: *Natracuolf*, *Natrudalf*, *Fragiacuolf*, *Natrustalf*, *Pelludert típico* y *Cromudert ácuico*). Si bien esta unidad es muy fácilmente diferenciable de las otras desde el punto de vista florístico, reúne una heterogeneidad bastante amplia de comunidades. Los rasgos más comunes son la alta dominancia de especies del género *Distichlis* y, en los extremos más salino-sódicos, la dominancia de especies de los géneros *Spartina* y *Salicornia*. Las especies más frecuentemente acompañantes son *Sporobolus pyramidatus*, *Hordeum stenostachys*, *Pappophorum mucronulatum*, *Spergularia* sp, *Lepidium* sp, *Heliotropium curassavicum*, *Limonium brasiliense* (Figura 2.33).

En Anexo A-2, punto A-2.2, se presenta a modo de ejemplo un detalle de censo florístico efectuado en la región de la presente tesis en algunos sitios en donde la comunidad vegetal es aún prístina como en *Carlos Casares*; mezcla de comunidad vegetal prístina y especies implantadas como en *Pehuajó*, y donde sólo hay vegetación considerada maleza asociada a la historia del lote, y ubicación en el relieve como en *9 de Julio* (Bayón, comunicación personal).

2.1.5. Clima de la región noroeste bonaerense

2.1.5.1. Caracterización bio-climática

La región del presente estudio, se ubica según el Atlas bio-climático de la Argentina (Czajkowski y Gómez, 2006) junto con el sur de Santa Fe, centro y sur de Córdoba, casi íntegramente San Luís, y este de Mendoza, en la región bio-climática IIIa, *templado cálida seca* (Figura 2.35).

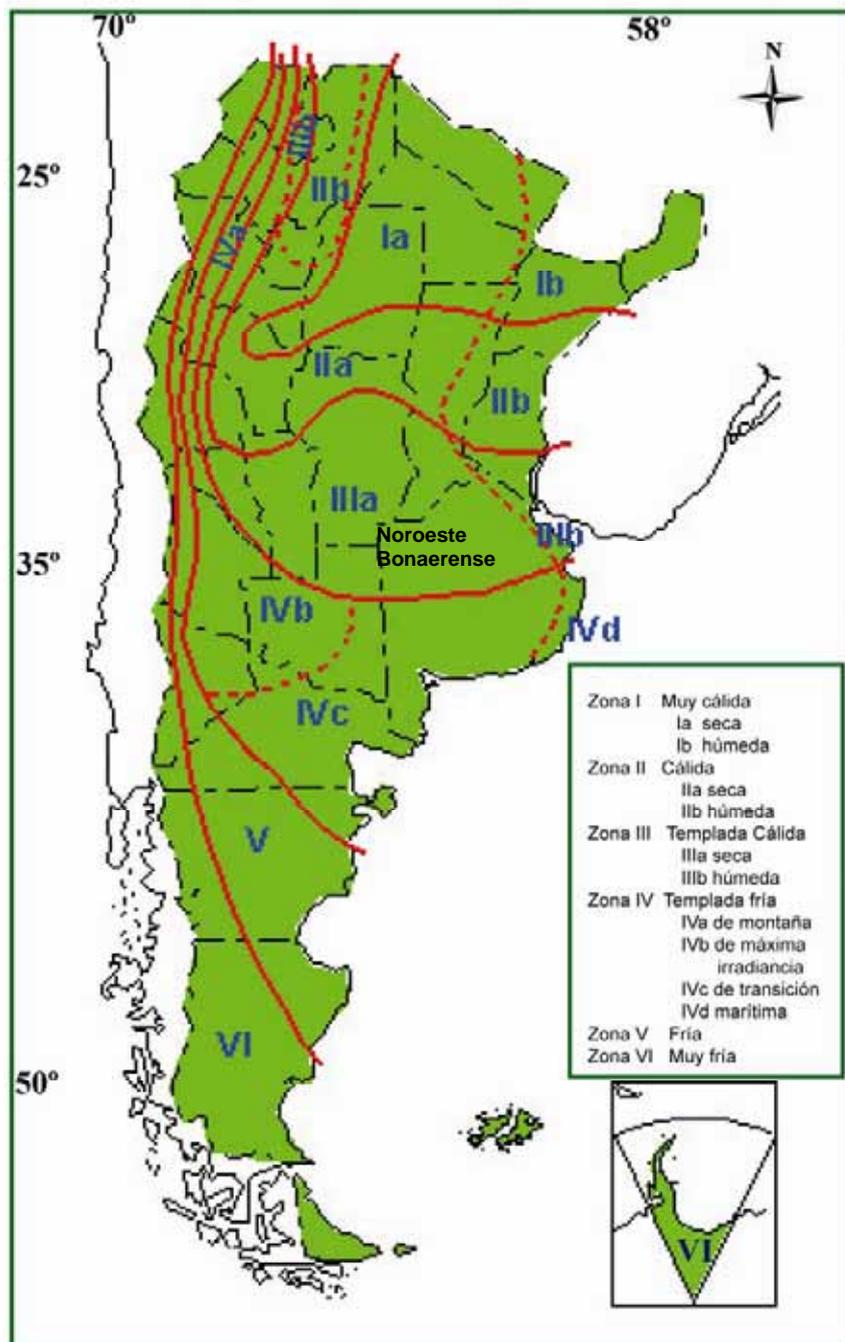


Figura 2.35 Atlas bio-climático de la República Argentina (extraída de Czajkowski y Gómez, 2006).

La regionalización del país por precipitación, temperatura, viento, y otras características se presenta en el Atlas Argentino (Naumann y Madariaga, 2003). En Figura 2.36, se presenta el mapa de precipitación media de la Argentina, y se indica el movimiento que se produjo de las isohietas para la Pampa Húmeda para dos períodos, 1925-1965, y 1966-2001. Se aprecia que casi integralmente la provincia de Buenos Aires está comprendida en el sector entre las isohietas 500 y 1,000mm de precipitación anual. En el detalle del sector del noroeste bonaerense (Figura 2.36) se muestra el desplazamiento de las isohietas de 600 y 800mm hacia el sur oeste en el período 1966-2001 respecto al periodo 1925-1965.

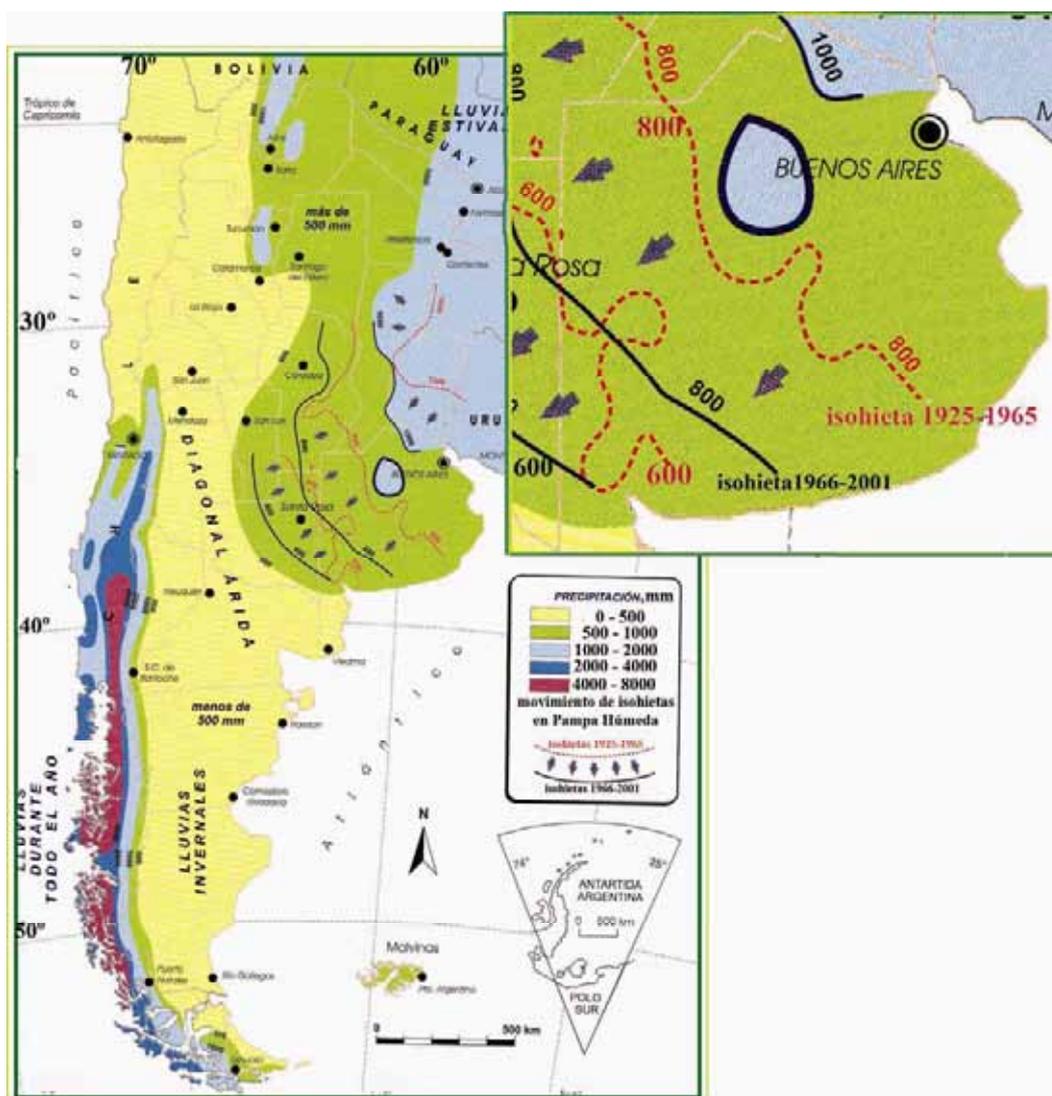


Figura 2.36 Mapa de precipitación media de la República Argentina (extraída de Naumann y Madariaga, 2003).

La temperatura media, corrientes oceánicas, y vientos se presentan en la Figura 2.37. En ésta se observa que toda la provincia de Buenos Aires, junto a todas las provincias del centro y noroeste del país, se ubican en en el ámbito comprendido entre un mínimo de temperatura media anual de 10°C al sur, y 20°C, al norte. Los vientos que llegan a la provincia de Buenos Aires, son los cálidos del norte o viento tropical, y el viento frío, denominado Pampero, proveniente la Cordillera de los Andes.

Con mayor detalle, el estudio efectuado por el PMI para la Cuenca del Salado (1999) indica que se identifican cuatro zonas agro-climáticas, cada una se caracteriza por una estación representativa, utilizando los siguientes criterios de diagnóstico: lluvia anual media; número de días al año en que la precipitación excede a la evapotranspiración potencial; y temperatura anual media, temperatura media, absoluta, y riesgo de helada. La región estudiada se corresponde con la Zona agro-climática D y se relaciona con **Pehuajó**, la cual se toma como estación de referencia (periodo considerado 1911-1996).

- El *clima* se caracteriza por:
- Precipitación media anual de 750-900 mm, con una mínima en junio-julio (15-30 mm/mes) y

- una máxima en enero (mayor a 100-120 mm/mes en el este, 65-85 mm/mes en el oeste).
- Período de crecimiento estándar entre 360 días en el este y 330-300 días en el oeste, y un período de humedad estándar de 90 días o menos.
- Temperatura anual media superior a los 16°C, variando entre una mínima en junio-julio (8.7-9.1°C) y una máxima en diciembre-enero (21.6-22.9°C); de nueve a diez meses de cada 12 tienen una temperatura promedio superior a 10°C, óptima para el crecimiento de maíz.
- Temperatura mínima media superior a 5°C entre diciembre y marzo (4 meses), crecimiento óptimo de maíz.
- Riesgo de helada desde mayo hasta septiembre (5 meses), especialmente en julio (10 días/mes).

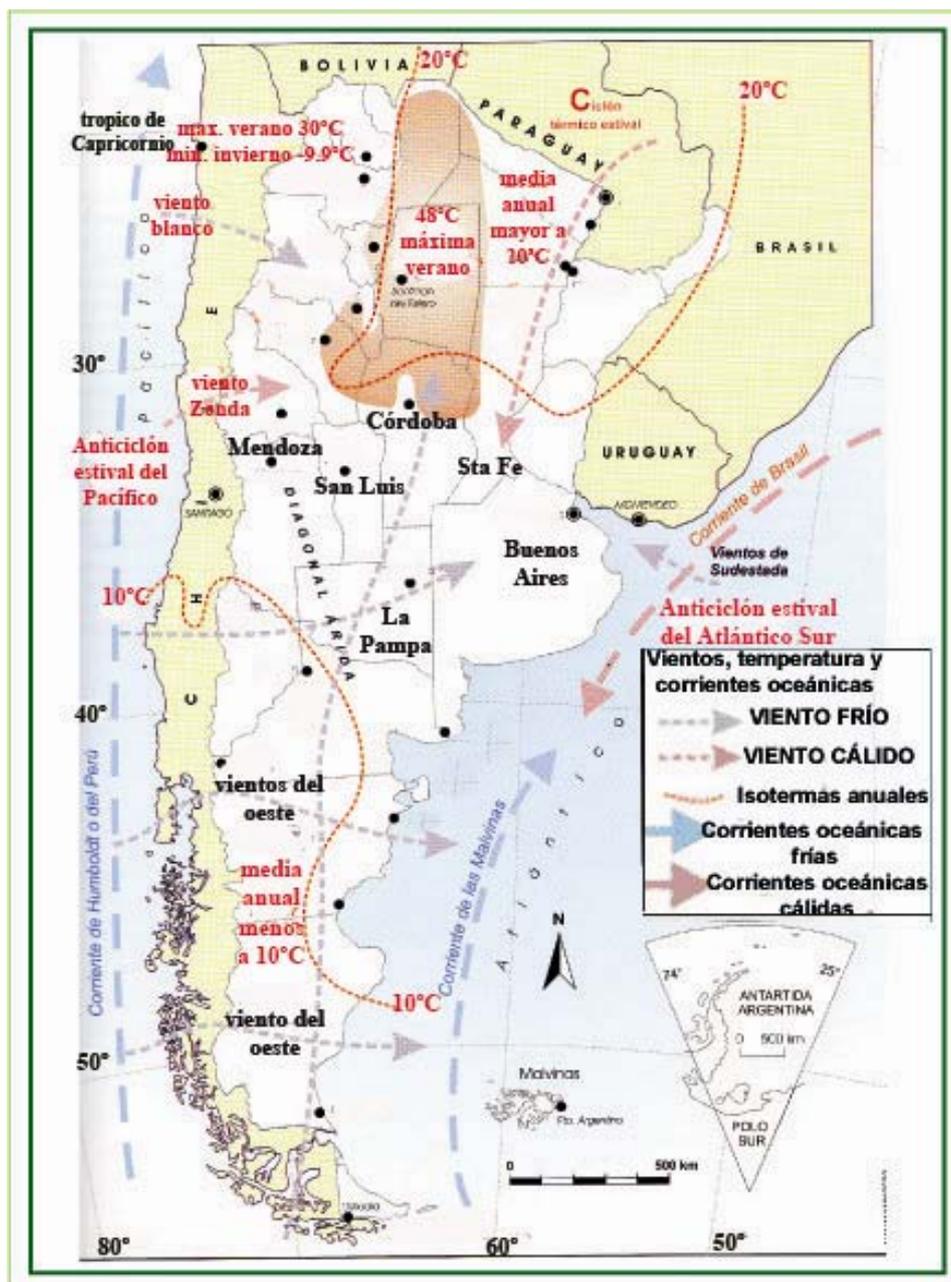


Figura 2.37 Temperatura media, corrientes oceánicas, y vientos de la República Argentina (extraída de Naumann y Madariaga, 2003)

Czajkowski y Rosenfeld (1992) caracterizan a la región del noroeste bonaerense como perteneciente a la *Zona Bio-climática* según Normas IRAM 11.603 como *templado cálido*, y como templado cálido transicional definido a partir de la temperatura media anual (15-16°C), amplitud térmica (12-14°C) y humedad relativa (72-74%). Czajkowski y Gómez (2006), indican al igual del PMI (1999) a la localidad de Pehuajó para la región del noroeste bonaerense, los datos climáticos que se presentan en Tabla 2.9, correspondientes al año 2002.

Tabla 2.9 Datos climáticos de Pehuajó año 2002, en Czajkowski y Gómez (2006)

Localidad	Pehuajó		Provincia	Buenos Aires		III A zona Templada cálida seca			
Latitud	35,87		Longitud	61,87		87msum			
Meses	T med °C	T máx.media °C	T mín.media °C	T máx. absol °C	T mín absol °C	HR %	V V Km/h	Precipitación mm	Radiación MJ/m2
Enero	22,9	31,2	15,0	41,2	4,9	60	16	78	25,00
Febrero	22,2	30,5	14,3	39,3	2,8	83	16	81	21,80
Marzo	18,9	26,6	12,1	37,1	-0,4	71	15	99	17,00
Abril	15,2	22,8	9,1	35,4	-2,7	78	13	68	12,80
Mayo	12,1	18,9	6,3	29,8	-5,9	78	13	43	7,90
Junio	8,4	14,8	3,4	26,7	-9,6	82	14	39	6,50
Julio	8,3	14,6	3,2	25,9	-7,2	81	16	32	7,00
Agosto	9,4	18,7	3,2	29,3	-5,7	74	18	29	9,80
Septiembre	12,0	19,3	5,3	30,0	-4,0	70	20	53	13,10
Octubre	14,6	21,2	8,3	34,7	-1,5	75	20	101	18,00
Noviembre	18,6	25,8	11,7	35,9	-0,3	70	18	115	23,60
Diciembre	21,1	28,4	13,9	41,1	2,1	65	18	103	25,20
Anual	15,3	22,9	8,8	41,2	-9,8	72	16	859	15,64

Giménez *et al.* (1990) para el noroeste en general, indican que la temperatura media anual varía de 15 a 16°C, observándose un acentuado carácter continental (máxima absoluta de 40°C y mínima absoluta de -7°C). La evapotranspiración potencial (ETP) media histórica anual es del orden de 800 a 850mm (otras publicaciones indican una ETP aún mayor, 1,000-1,200mm) estableciendo que es mínima en julio y máxima en verano. Así, para diciembre y enero suele reportarse un denominado déficit de agua para los cultivos, magnificado por la baja retención hídrica del suelo arenoso. Asimismo, se destaca que la lluvia mensual media del noroeste bonaerense, al igual que otras zonas que incluye el área de estudio del PMI, evidencian una marcada diferencia estacional en la lluvia, siendo la lluvia de invierno aproximadamente la mitad de la lluvia de verano, destacándose el mes de marzo por ser particularmente húmedo (PMI, 1999).

2.1.5.2. Clima edáfico

La acción directa del clima en el suelo es a través de la precipitación y la temperatura, siendo indirecta a través de la vegetación, ésta controla así el tipo de procesos posibles y su intensidad, al ser junto al material original, tiempo, relieve y factores bióticos, uno de los cinco **factores formadores de los suelos**.

La relación entre evapotranspiración (EVT) y precipitación (P) define en un sitio el régimen de humedad del suelo, que Gerasimov (1960 en Porta *et al.* 1994) indica es de cuatro tipos: **percolante** ($P > EVT$) - **no percolante** ($EVT > P$) - **ascensional** ($EVT \gg P$) - **saturado de agua**. El resultado o tipo que dependerá de la escala de tiempo de evaluación considerada (diaria, semanal, mensual, anual),

El clima edáfico es resultante de las propiedades intrínsecas del perfil edáfico, y el ambiente en el cual se encuentra dicho suelo. La clasificación de suelo, *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff,

1999) se basa entre otras propiedades, en los regímenes de humedad y temperatura del suelo a fin de caracterizar un suelo en un sistema de referencia.

En Figura 2.38 se presentan los regímenes de temperatura y humedad edáfica de la República Argentina, los cuales en términos prácticos, son definidos a partir de la precipitación media, evapotranspiración, y temperatura media, máxima, y mínima. En el área de estudio se dan dos tipos de *régimen de humedad* edáfico asociados al clima, *údic*o hacia el este y *ústic*o al oeste (Figura 2.13), y un tercer régimen de humedad asociado al relieve que es el régimen *ácuic*o. El *régimen de temperatura edáfica* es para toda la región de tipo *térmic*o.

El *régimen de humedad del suelo*, es definido por el sistema de clasificación de suelos del *Soil taxonomy* en función del tiempo de duración del estado de suelo seco (agua retenida a menos 15 atm, punto de marchites permanente) y estado húmedo (mayor a dicho valor), en el denominado "*sector de control de humedad edáfica*", variable según la textura. Así, el régimen de humedad *údic*o, caracteriza al suelo de clima húmedo con una distribución regular de la pluviometría a lo largo del año, con agua durante todo el año. Es un régimen de humedad percolante, con pérdida de nutrientes, y acidificación progresiva por lavado. El régimen *ústic*o, presentan déficit de agua en varios momentos del año debido a lluvia insuficiente o elevada evapotranspiración (Porta *et.al.* 1994). Tal como se indicó, en términos prácticos, se considera el valor de precipitación media anual para establecer ambos regímenes, siendo el límite 700mm, así, el ambiente con más de esta precipitación media anual se asocia al régimen de humedad edáfica *údic*o, y con menos de dicha media anual, con el régimen *ústic*o.

Las equivalencias entre estos regímenes de humedad del suelo, definidos por la clasificación de Soil Taxonomy (cuantitativo) con lo expresado precedentemente es: *Percolante* - *údic*o; *No percolante* - *aríd*ico, *xéric*o, *ústic*o; *Ascensional* - *aríd*ico, *xéric*o y *Saturación con agua* - *ácuic*o (Porta *et al.*, 1994).

RIAP (2007) destaca, para la región del noroeste bonaerense, al clima como factor primordial en la diferenciación de los Grandes Grupos de suelos. El límite entre los regímenes *údic*o y *ústic*o se ubica en la parte media del área de estudio (noroeste bonaerense), por lo cual, algunas unidades cartográficas son similares en cuanto al relieve y características morfológicas de su perfil, diferenciándose exclusivamente por el régimen de humedad edáfico tal como se aprecia en el punto 2.1.3.1, relativo a la descripción de suelos. Así por ejemplo, los suelos en las partes más altas de los médanos son *Udipsament* o *Ustipsament*, según sean de régimen de humedad *údic*o o *ústic*o, respectivamente.

El régimen de humedad *ácuic*o, se presenta en suelos de depresiones, posiciones bajas, próximos a las lagunas, y se caracteriza por contenido de humedad elevado en la zona de control de humedad, superior a la evapotranspiración. En general, el agua en exceso proviene de superficie freática cercana y conduce al desarrollo de rasgos hidromórficos (ver punto 2.1.3.4, y Figura 2.34).

El *régimen de temperatura*, queda definido por la temperatura media anual, temperatura media de verano e invierno del suelo a 50cm de profundidad, pudiendo calcularse también a partir de las temperaturas del aire. Al *régimen térmic*o, pertenecen suelos que tienen una temperatura media anual entre 15°-22°, y se corresponden con las regiones de clima templado.

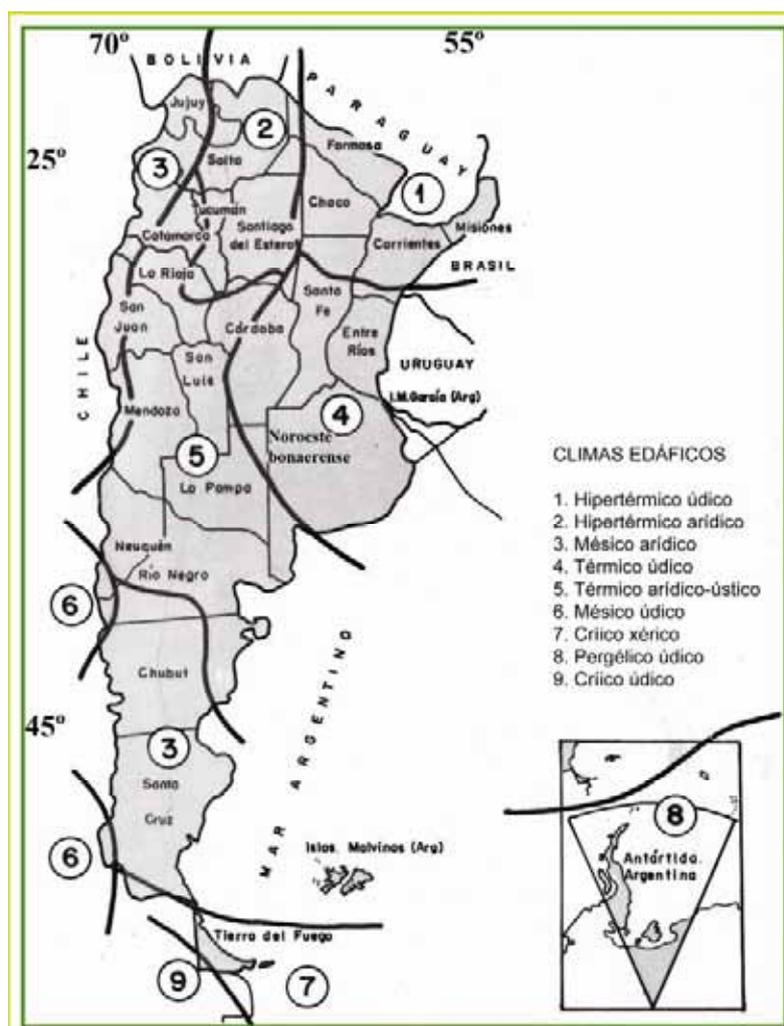


Figura 2.38 Regímenes de temperatura y humedad edáfica de la Republica Argentina (extraída de INTA, 1990)

2.1.5.2. Respuesta edáfica: cantidad de agua para los cultivos

No obstante lo indicado para suelos con régimen údico, en la región, aún en épocas con lluvias superiores al límite de 700mm se producen déficit hídrico en los cultivos principales del área, asociadas a la distribución irregular de precipitaciones y características de los suelos (punto 2.1.3.). Al respecto, el PMI (1999) realiza un análisis de la posible cantidad de *agua asequible para los cultivos*, estimando el *balance de humedad* del suelo según sea su capacidad de retención de humedad y el cultivo considerado. Así, el balance de humedad para suelos con una capacidad de retención de humedad entre 50mm (suelos arenosos) y 200mm (suelos profundos de textura fina), indican que se producirían déficit de humedad en casi todos los cultivos frecuentes en el área de estudio en al menos alguna etapa de su período de crecimiento, excepto para la “soya de segunda”.

Estiman que para el periodo de crecimiento completo, el déficit de humedad del cultivo de maíz, girasol, soya y trigo, es de 104, 49, 76, y 47mm de agua, respectivamente. En los sitios más aptos para la producción de los cultivos de la Cuenca del Salado tales diferencias serían inferiores, 42, 0, 26, y 35mm respectivamente para cultivos iguales, y en pasturas, 101mm contra 32mm de agua.

Igualmente, concluyen que excepto para las pasturas, y soya de segunda, la mayoría de los cultivos del área sufrirán algún grado de restricciones climáticas, y destacan que la lluvia en diciembre-enero es crucial para un buen rendimiento de los cultivos de verano, y cualquier año con precipitaciones superiores al promedio se reflejará directamente en las perspectivas del rendimiento (PMI, 1999).

Lo indicado se explica por lo descrito en punto 2.1.3, Tabla 2.4, relativo a la principal limitante de los suelos que es la susceptibilidad a la sequía (contenido de humedad insuficiente para el normal desarrollo de cultivos frecuentes en la región). Por lo cual la definición taxonómica de regímenes de humedad edáfica, adquiere en la región una relatividad importante.

Así como se indicó en Tabla 2.4, algunos de los suelo indicados como más susceptible a la sequía, definida como de tipo moderada a elevada según el caso, es el correspondiente con zonas de *Médanos* y *Mantos* (*Udipsament típico*, *Hapludol éntico*). Por el contrario, el suelo de los *Mantos Someros* (*Hapludol tpto árgico y nátrico*) presentan una mayor capacidad de retener agua por la presencia de horizontes Bt de arcilla iluvial (no susceptibles a ligeramente susceptibles). Ambos suelos pertenecen al suborden údico, y sin embargo presentan comportamientos muy diferentes en relación con la cantidad de agua que pueden almacenar. La respuesta del suelo en relación con la cantidad de agua que contienen no sólo queda definida por el régimen de humedad.

Los suelos con régimen **ácuico**, tal como los correspondientes a *Mantos Someros próximos a lagunas*: *Hapludol ácuico*, a Depresiones inter-medanosas: *Epiacuol tpto árgico y tpto nátrico*; *Cubetas de deflación*: *Natralbol*, *Natracualf* y *Natracuol típico* (Figura 2.31, 2.33, 2.34) se caracterizan por presentar exceso hídrico debido a malas condiciones de avenamiento por su posición en el relieve, elevada alcalinidad, entre otros. No obstante, las restricciones que imprimen a los cultivos estos suelos es variable, su régimen de humedad puede incluso ser favorable en épocas secas tal como sucede con el *Hapludol ácuico* que resultan incluso apto para forestación y cultivos frecuentes de la región. Cuando los excesos hídricos son alcalinos, las restricciones se hacen muy severas e incluso llegan a impedir el desarrollo vegetal.

2.1.5.3. Cambio climático y variabilidad del clima

En diversas publicaciones se indica el concepto de “**cambio climático**”, haciendo referencia principalmente a variaciones en precipitación y temperatura, estableciendo entonces que toda variación en el clima se constituye en un cambio climático. Sin embargo, otras publicaciones no están de acuerdo con esto, ya que al menos en algunos escenarios las modificaciones en temperatura y precipitación pueden considerarse *variación cíclica*. Adicionalmente, se ha cuestionado sobre lo pertinente del concepto estableciendo la dificultad técnica de definir satisfactoriamente “**cambio**” y “**clima**”.

Al respecto se destaca la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** donde se usa el término cambio climático sólo para referirse al cambio por causas humanas. Así, en su artículo 1, indica: “por **cambio climático** se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Al cambio producido por causas naturales, lo denomina **variabilidad natural del clima**. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico (Wikipedia, 2007).

En efecto, la bibliografía hace generalmente referencia a cambio climático global, cuando se indican las alteraciones producidas por la intervención del hombre, como consecuencia del aumento de la concentración de gases en la atmósfera de “efecto invernadero”, principalmente

CO₂. Sin embargo, es frecuente, que el término se use en forma poco apropiada, para hacer referencia tan sólo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de *calentamiento global*, únicamente.

En Anexo A-3, punto A-3.1, se presenta una revisión sobre algunos de los principales **acontecimientos internacionales** que dieron origen a actuales acciones y programas nacionales e internacionales, de tipo intersectoriales, vinculados al cambio climático y a la protección del ambiente:

En Anexo A-3, punto A-3.2, se reseñan algunos antecedentes referidos al clima, cambios y consecuencias, indicados para la **Argentina**.

En base a la bibliografía consultada (Anexo A-3) se puede afirmar que desde diversos ámbitos se señala que para principios del siglo XXI el calentamiento global es irrefutable.

Sin embargo, se destacan algunos puntos que deben también considerarse:

- ⇒ *La Revolución Industrial* es considerada como el mayor cambio socioeconómico y cultural de la historia, que tuvo su inicio en Reino Unido, en el período comprendido entre 1750 y 1820, que afectó inicialmente a toda Europa y luego al resto del mundo. Desde finales del siglo XVII el hombre utiliza combustibles fósiles que la tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica: petróleo, carbón y gas natural, lo que produce un aumento del CO₂ en la atmósfera (últimos años es de 1.4ppm anual), y un consiguiente aumento de temperatura. Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) ésta ha aumentado 0.5°C y se prevé un aumento de 1°C en el 2020 y de 2°C en el 2050.
- ⇒ Las variaciones que se registran en temperatura y precipitación son muy dispares según el sitio considerado, pudiendo existir además otros factores vinculados a clima: la imprecisión en sus mediciones. Así, las estaciones meteorológicas en las grandes ciudades han pasado de estar en la periferia de la ciudad, al centro de ésta y el efecto de isla urbana ha influido en el aumento de temperatura observado. En Argentina, la disminución del número de estaciones meteorológicas ha sido drástica, e incluso los sitios de registro se han modificado sustancialmente al haberse perdido el seguimiento histórico que se tuvo en las estaciones ferroviarias desde su instalación en el siglo XIX.
- ⇒ Sobre la *imprecisión de las mediciones climáticas en Argentina* (se detalla en Anexo A-3.3).
- ⇒ Si bien en los últimos años del siglo XX se caracterizaron por temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo, en el Cretácico, sin intervención humana, el CO₂ era más elevado que ahora y la Tierra estaba 8°C más caliente (Wikipedia, 2007).
- ⇒ En el área de estudio, tal como se describe en punto 2.2, la alternancia de sequía e inundación, ha sido registrada en forma cíclica en la región pampeana desde 1576 a la actualidad. El último ciclo húmedo, se inició en la década de 1970's registrándose las inundaciones más graves en 1980 (Moncaut, 2003).

A lo indicado, cabe agregar que resulta adecuado comprender cabalmente conceptos o hechos que permiten establecer la existencia de *cambio o variabilidad climática*, tales como: **clima, paleoclima, paleosuelos y climosecuencia** (Anexo A-3.4).

2.1.6. Ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos

2.1.6.1. Introducción referente histórica

No obstante la importancia que adquieren lagunas y humedales de la región pampeana en general, y en especial el noroeste bonaerense, por su elevado número, distribución, cobertura y la necesidad de incorporarlas a los sistemas productivos actuales, han sido poco estudiadas. La

escasa información asequible sólo ha permitido lograr un mínimo conocimiento conceptual de la estructura y funcionamiento de las lagunas pampeanas (Quirós *et al.* 2002). En la Figura 2.18 se destacan las principales lagunas en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, en el área de estudio y proximidades, vista general y detalle de tres sectores: Encadenadas del Oeste al sur del área de estudio, las correspondientes al área de estudio propiamente dicha, y al norte del área de estudio, donde se inicia el Río Salado a cuyo curso se vuelcan las aguas del noroeste de la provincia de Buenos Aires mediante canales (Figura 2.3).

Dangavs (2005) caracteriza los ambientes lagunares de la provincia de Buenos Aires, e indica que constituyen el relieve más conspicuo de la planicie provincial. Este autor destaca la existencia de varios miles de lagunas, con etapas evolutivas muy diferentes, con una distribución, morfología y tipología relacionada con clima, relieve, litología y estructura geológica. Las lagunas bonaerenses son cuerpos de agua alojados en cubetas de escasa profundidad, siendo en su gran mayoría la profundidad máxima de 2-2,5m (hasta 10m en pocos casos, tales como Lagunas de Guaminí, Cochicó), y forma geométrica bien definida como “perfil en bañera” (*Wanne*), “batea” (*Mulde*), “palangana” o “sartén” (*Planne*), lo que depende tanto de su origen como de su estado de colmatación. Las cubetas geológicamente más antiguas se encuentran en mejor estado limnológico que las contenidas en cubetas más recientes, debido a que estas últimas presentan un avanzado estado de colmatación por sedimentos, desarrollo de vegetación acuática, o se han extinguido, debido a que las acciones que excavaron cubetas, principalmente eólicas, fueron más intensas en el Pleistoceno Superior que en el Holoceno.

2.1.6.2. Origen de las lagunas

En relación con el *origen* de las lagunas poco profundas y sistemas de humedades presentes en la región pampeana, Quirós *et al.* (2002) cita autores que atribuyen que las mismas se formaron por la sucesión de períodos climáticos secos y húmedos en una geomorfología caracterizada por un escaso poder morfogénico debido al relieve llano. Los antiguos depósitos arenosos de origen fluvial, fueron reelaborados en el pasado geológico reciente por vientos que formaron campos de dunas en condiciones de aridez. Este autor cita a Tricart (1973), quien sostiene que las lagunas pueden tener su origen en procesos de deflación eólica que se sucedieron durante el Cuaternario, remodelado por acción fluvial en un gran número de lagunas en época húmeda (hasta transformarse en pantanos), y en pocos casos por el embalse natural del agua de escorrentía entre médanos, montículos loéssicos o cordones de conchilla. Por último destaca, que un caso especial de lagunas, se presenta en puntos más bajos de la planicie, y han tenido comunicación con el mar en épocas geológicas pasadas, quedando aisladas al elevarse el terreno, y dulcificándose paulatinamente por el aporte de agua pluvial. Asimismo, indican que muchas de las grandes lagunas existentes son resultado de la construcción de presas en un bajo inundable (Ejemplo, Laguna Cuero de Zorro, en límite entre partidos de Rivadavia y Trenque Lauquen).

Dangavs (2005) considera que las actuales lagunas se alojan en cubetas de edad distinta, y variado origen, en cuyo modelado casi nunca los procesos fueron únicos, sino que en muchos casos, se reconoce la superposición de dos o más acciones geomorfológicas. Así, las cubetas son el resultado combinado de diversos procesos combinados y repetitivos, deflación-acumulación-deflación, durante la alternancia de climas seco y húmedo que caracterizó a la región pampeana, siendo el proceso dominante deflacionario por el viento, incluso en las zonas de cauces fluviales y depresiones de origen tectónico, lavado y retroceso de pendientes, y en el caso de sistemas fluvio-lacustres también por la acción fluvial. Tampoco descartan la existencia de cubetas primitivas con acciones repetitivas de deflación-acumulación hídrica que ampliaron dichas cubetas. Este autor indica que en función de los diversos procesos eólicos e hídricos sucedidos en la Cuenca del Río Salado desde el Pleistoceno Superior al presente, se establecen cinco etapas de excavación de cubetas y/o rejuvenecimiento en clima árido, y cinco

de acumulación en clima húmedo. En el régimen de clima húmedo actual las cubetas formadas se transformaron en cuerpos lénticos, principalmente lagunares. Específicamente para las lagunas del noroeste bonaerense, Complejo lagunar Hinojo-Las Tunas (Trenque Lauquen), indica un origen eólico.

2.1.6.3. Tipología de lagunas

Fuschini (1994, en Quirós *et al.*, 2002) indica que como lago de llanuras, son altamente dependientes de la precipitación "*in situ*". Al respecto, Dangavs (2005) indica que el aporte hídrico que recibe una laguna proviene de la lluvia directa sobre el espejo de agua, la escorrentía superficial, y principalmente del agua libre subterránea, siendo esto último lo que prevalece, ya que con frecuencia el espejo lagunar es la superficie freática al descubierto. Asimismo, puede darse también cuerpos de agua colgante.

Si bien en la mayoría de las lagunas se produce la existencia de un régimen semi-permanente, que indica cierto equilibrio natural de balance hídrico que tiende a preservar el agua, lo indicado en párrafo anterior, revela la gran dependencia e interrelación de estas masas de agua con fenómenos hidrometeorológicos, por lo cual estos biotopos son altamente inestables, con amplia variación en el volumen de agua.

Dangavs (2005) adopta la siguiente clasificación hidrológica de ambientes lagunares: *permanente, casi-permanente, semi-permanente, temporaria, efímera, periódica y pluvial*. En Anexo A-4.1 se explica el significado de estos tipos de ambientes. Se destaca que si bien en el noroeste bonaerense, se presentan todos los tipos de lagunas indicadas, son de mayor importancia las de tipo pluvial, tal como La Salada de Pehuajó. Asimismo, la laguna La Picasa, en el sur de Santa Fe, que podría incidir en las inundaciones del noroeste bonaerense (ver punto 2.2) es de tipo pluvial.

Las lagunas pampeanas, presentan *extensiones* muy variadas, desde 0.01ha a 15,000 ha (0.0001 a 150km²), siendo las más comunes las pequeñas con superficie de 0.05 y 10ha en número aproximado de 146,000 en toda la provincia. Asimismo, a nivel provincial se describen unas 10,500 lagunas mayores a 10ha, y 200,000 microcubetas de 0.01 a 0.05ha (Catálogo de Ambientes Acuáticos de la Provincia de Buenos Aires, en Dangavs, 2005) (en Figura 2.8 y 2.15 se indican algunas de ellas).

2.1.6.4. Características físico-química del agua

En general, la bibliografía consultada indica que las lagunas pampeanas se caracterizan por ser muy poco profundas, que no estratifican térmicamente excepto por períodos cortos, con tiempo de permanencia del agua y salinidad altamente variable (Quirós *et al.*, 2002). La *temperatura* del agua es casi homogénea y semejante a la del aire, salvo en las lagunas más profundas donde hay mayor amplitud térmica respecto al aire, la amplitud de la temperatura media del mes más cálido y el más frío es de 20° C (amplitud absoluta 30° C) (Dangavs, 2005).

Por su *concentración salina* se clasifican como lagunas de agua dulce (*hipohalinas* <50mg/l de sólidos disueltos totales, *oligohalinas* (500-5,000mg/l, por ejemplo laguna de Alsina, Gómez, Cuero de Zorro, Cochico) y *mesohalinas* (5,000-16,000mg/l, por ejemplo laguna de Las Tunas, Hinojo), llegando a extremos máximos hiperhalinas (>40,000mg/l) por ejemplo laguna de Epecuén. Prevalecen en la provincia las oligohalinas, y dentro de estas las de condición algo salobre, tanto en regiones más húmedas como en más secas de la provincia. Las más salinas se sitúan en cuencas más aisladas hidrológicamente, y han tenido cierta declinación en los últimos años por causa climática pero actualmente están en franca recuperación (por ejemplo laguna de Epecuén). En las zonas menos salinas y con menor desarrollo antrópico, la

vegetación cubre por sectores y con extensión variable la superficie de la laguna (Quirós *et al.*, 2002; Dangavs, 2005).

El catión dominante es el Na⁺; el Mg⁺² prevalece sobre el Ca⁺², siendo este último junto con el K⁺ poco importante en concentración. El anión acompañante es variable, el agua es entre bicarbonatada y clorurada sódica, hemi a hiposulfatadas magnésicas. El pH es en general neutro a levemente alcalino, excepcionalmente alcanza valores mayores a 9, la alcalinidad es debida a bicarbonatos. Las lagunas con pH ácido son muy raras y corresponden a ambientes degradados a pantanos. La materia orgánica soluble en medio ácido en general es escasa mientras que la particulada suspendida es abundante. Los nitratos y nitritos no aparecen en los análisis hasta los años de la década de los 1960, siendo actualmente frecuente en ambiente próximo a poblaciones y/o descargas cloacales. El fósforo ha sido constante como vestigio en muestreos antiguos, pero a partir de la década de 1970 se incrementa por la contaminación con detergente (Dangavs, 2005).

2.1.6.5. Características bióticas, y su relación con la físico-química del agua

La Cuenca del Río Salado, incluye un número muy elevado de cuerpos lénticos (lagunas) y lóticos (ríos, arroyos y canales), frecuentemente interconectados mediante una compleja dinámica hidrológica que provoca cambio en la calidad del agua y en sus principales comunidades bióticas. La ictiofauna que habita los cuerpos lagunares presenta una distribución heterogénea de acuerdo con la estacionalidad y diversidad de hábitat. A nivel regional, la diversidad es mayor en las lagunas próximas al Río Salado y menor en las Encadenadas del Oeste, observándose así un gradiente latitudinal. La **salinidad y la temperatura** constituyen los factores claves que determinan una barrera ecológica para la distribución de los elementos de la ictiofauna de las lagunas bonaerenses (PMI, 1999).

Dangavs (2005) indica que desde el punto de vista biológico, la tipología lagunar se establece mediante sucesión trófica: oligotrófica (oligo: poco; trófica: alimento), mesotrófica, eutrófica (eu: mucho; trófica: alimento), etc. En el caso de las lagunas bonaerenses, estas disponen de abundante materia orgánica, y elevada concentración de nutrientes que determinan la eutrofia desde su origen. Esta organización está íntimamente ligada con las condiciones físico-químicas, hidrológicas, climáticas y bióticas de la región. Existen varias divergencias debido a cambios locales en el clima, geomorfología, y sustrato, que se visualizan en diferencias químicas y funcionamiento general. Una de ellas se presenta en zona húmeda caracterizada por abundantes macrófitos, con peligro de acumulación excesiva hasta la formación de pantano. Otras regiones sub-húmedas, carecen de macrófitos, y si bien la acumulación de fango es baja, presentan problemas de desagüe y se salinizan cuando prevalece la evaporación.

Quirós *et al.* (2002) analizan la relación directa entre la intensidad de uso de la tierra, contenido de nutrientes (N, P), clorofila, biomasa de comunidades bióticas, y el cambio en la estructura de la comunidad de peces. Las lagunas pampeanas presentan un característico estado trófico, entre eutrófico y altamente hipertrófico, lo cual permite distinguir entre *lagunas claras, turbias y altamente turbias*.

Estos autores encuentran que a mayor intensidad de uso de la tierra en la cuenca involucrada a la laguna, aumenta la cantidad y concentración de nutrientes, se incrementa la turbidez de origen biológico, y aumenta el estado trófico, produciéndose un deterioro de la oxigenación en la interfase sedimento-agua hasta estados de anoxia en lagunas muy turbias, donde además la proporción de piscívoros de mayor tamaño disminuye apreciablemente. Estos estudios y otros previos, muestran que este tipo de laguna poco profunda, de llanura, clara y turbia, puede oscilar entre uno y otro estado de equilibrio estable, en forma estacional, por la presencia de inundación, sequía, variación en profundidad a la superficie freática, profundidad de la laguna,

que modifica la concentración de nutrientes, oxígeno, luz, o salinidad, afectará el estado estacional lagunar. Así por ejemplo, una sequía extrema favorecerá el desarrollo de la macrófita acuática, mientras que las tormentas de viento cargan de sedimentos a la laguna, teniendo menor efecto en lagunas claras por la protección que ejerce la macrófita.

En Anexo A-4.2, se describen las características principales de las lagunas, clara, turbia y muy turbia. En el Anexo A-4.3, se presenta según diferentes fuentes, como se produce en la provincia de Buenos Aires la colonización de diferentes especies de peces, y de otros organismos acuáticos, en función de la sequía-inundación, formación de cuerpos de agua, y características de fisico-químicas de las aguas.

2.1.6.6. Potencialidad productiva y económica de las lagunas

La importancia económica de los ambientes lagunares de la Pampa Seca se relacionó tradicionalmente con la extracción de sales, mientras que en la Pampa Húmeda, ha estado ligada a elementos bióticos. La importancia de estos bióticos es múltiple, realizándose actividades de pesca comercial y deportiva, caza de aves y mamíferos pilíferos, y cosecha de vegetación (juncáceas). Desde la década de los 1990's se ha comenzado a analizar la posibilidad de utilizar los materiales de relleno de las cubetas, principalmente en la Cuenca del Río Salado. Así, en la región se han identificado 33 sitios con alto potencial yesífero de calidad industrial. Otros materiales provienen del dragado tal como el fango de las cubetas que se usa para rellenar terrenos bajos y en la construcción cuando es material arcilloso (ladrillo, zócalo, baldosa, cerámica) (Dangavs, 2005).

Mastrarrigo (1974) indica que los primeros ensayos de acuicultura en la Argentina se remontan al año 1904, con salmónidos para poblar los lagos de la Cordillera de los Andes, y pejerrey (*Basilichthys bonariensis*) para reproducción artificial lacustre en la provincia de Buenos Aires, y como grupo de gran importancia para la Argentina, indica la cría de Trucha (*Salmo trutta* "trucha marrón" y *S. gairdnerii*). *Percichthys sp.* "trucha criolla", con gran futuro actualmente. Este autor, señala al pejerrey, como una especie autóctona de gran valor y renombre en la actualidad cuya difusión podría darse en las aproximadamente 100,000ha de espejos de agua constituidos por típicas lagunas de llanura de la pampa argentina, estimando una producción de 4,000–5,000ton. Asimismo, indica que habría que adicionar para esta especie los espejos de agua correspondientes a lagos de obras hidráulicas que en conjunto suman aproximadamente 10,500ha, con una producción evaluada en 510ton. Se destaca, que estos cálculos fueron realizados para 1974, previo al inicio del último ciclo húmedo.

En el Anexo A 4.4, se presentan algunos antecedentes relativos al desarrollo de la producción acuícola comercial en la Argentina, y se indica el sitio que ocupa dentro de esta, la producción del noroeste bonaerense.

Específicamente, sobre los recursos pesqueros de la Cuenca del Río Salado, en el PMI (1999) se indica la importancia extraordinaria que los mismos poseen en el contexto de las aguas interiores de Argentina, por su abundancia e impacto que desde la perspectiva socio-económico pueden hacer en la región. Sin embargo, a pesar de la notable relevancia que posee la pesca en ambientes lénticos y lóticos en la provincia de Buenos Aires, y la necesidad para su adecuada gestión, de conocer los aspectos sociales y económicos de las pesquerías y de las motivaciones que atraen a los pescadores a los sitios de pesca, existen escasos antecedentes que consideren el impacto de la pesca desde una perspectiva socioeconómica.

Vigliano y Grosman (1996) y Grosman y Peluso (1998) en lagunas del centro de la Provincia de Buenos Aires, lograron estimar el movimiento económico que genera la pesquería recreativa y concluyeron que es de gran envergadura.

Remes Lemicov y Colautti (2004) indican la existencia de 90 relevamientos dirigidos a establecer el estado poblacional de peces en general y del pejerrey en particular en la provincia de Buenos Aires. Estos relevamientos continúan, y son efectuados desde la Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaría de Actividades Pesqueras del Ministerio de Asuntos Agrarios, provincia de Buenos Aires. Así, por ejemplo, se destaca los relevamientos efectuados entre 1996 y 2007 por el MAA (2007), en un alto número de lagunas. Se destacan los relevamientos en las lagunas Las Tunas e Hinojo Grande en Trenque Lauquen (Colautti *et al.* 1998, Colautti *et al.*, 1999; Remes Lemicov y Colautti, 2004; Berasain y Argemi, 2007a,c); Laguna Cuero de Zorro también de Trenque Lauquen (Berasain y Argemi, 2007a); Laguna Cochicó en Guaminí (Berasain *et al.*, 2000a; Berasain *et al.*, 2001; Remes Lemicov *et al.*, 2002; Berasain y Argemi, 2006a), laguna Gómez en Junín (Berasain *et al.*, 2000b; Berasain y Remes Lemicov, 2005; Berasain y Argemi, 2006c) y la Salada en el partido de Pehuajó (Berasain y Argemi, 2006b).

En la ordenación del recurso pesquero de la Cuenca del Río Salado, el PMI (1999) reconoce cinco regiones definidas por las especies de mayor interés deportivo o comercial. La región V, es la más extensa, e incluye toda el área oeste de esta tesis, las Encadenadas del Oeste y la porción sur de la cuenca, hasta las estribaciones de las sierras pampeanas. Esta región se destaca por la presencia predominante de pejerrey.

En relación con los tipos y abundancia, se indica que los peces de río y laguna comprenden más de 40 especies, de las cuales, las más comunes son el pez carpa (*Cyprinus carpio*), el sábalo (*Prochilodus lineatus*), la lisa (*Mugil sp*), y el de la pesca deportiva con más premios, el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*). Se destaca que la pesquería de tararira (*Hoplias malabaricus*), pejerrey y en menor medida de bagre (*Pimelodus albicans*), están estrechamente asociadas a ambiente tipo laguna, mientras que la lisa y la carpa, define pesquería característica de ríos y arroyos. La lisa aparece también relacionada con canales, igual que el *Acestrorhynchus altus* "dientado".

En el Anexo A-4.5, se presentan los aspectos socio-económico vinculados al recurso pesquero en la provincia de Buenos Aires, y especialmente en el noroeste bonaerense, tipos de actividades, regulaciones, y rendimientos. Asimismo, se indican los procedimientos recomendados para evaluar dichos recursos pesqueros, así como las recomendaciones de manejo de los ambientes lagunares.

2.1.7. Características socio-económicas

2.1.7.1. Principales actividades productivas imperantes en la región

La región de la Cuenca del Río Salado, tiene como actividad principal la producción primaria de granos y carne, y actividad agroindustrial. En el período 1994/7 produjo, el 29.7% de las exportaciones nacionales de trigo, el 28.8% de maíz, el 8.6% de soya y 41.9% de girasol. Como porcentaje de la producción nacional, representan el 60% de trigo, el 45% de maíz, el 90% de soya y el 67% de girasol. Estas cifras muestran la importancia de la producción agrícola y su especialización en cultivo de girasol. La producción de ganadería vacuna de la región se estima en aproximadamente el 30% de la producción total nacional (PMI, 1999). En conjunto, representa el 25% de la producción de granos y carne nacional, y algo menos del 20% de la producción láctea (Maiola y Cacivio, 2003).

Como se mencionó en punto 2.1.3., de las 10 Zonas Agroecológicas en que fue dividida la Cuenca del Río Salado, la región del Noroeste se ubican principalmente en la Zonas 4, 5 y la mayor parte de la 3 (ZAE4, ZAE5, ZAE3), ubicándose *el sitio de estudio mayoritariamente en la ZAE4.*

La región del noroeste bonaerense fue tradicionalmente una zona típica ganadera (invernada vacuna) pero a partir del ciclo húmedo que se inicia en la década de los 1970's, y otras variables económicas del país, tuvo una intensificación de la actividad ganadera (pastura cultivada, invernada rápida, confinamiento parcial, suplementación, terneros traídos de otras regiones para engordar básicamente a pasto para su terminación y venta a frigorífico con 400-460kg), y una agriculturización (nuevos cultivos, fertilizantes, agroquímicos, siembra directa, mecanización) (Paoli y Giacosa, 2003a; García, 2003; MAA, 2007).

Así, el uso actual del noroeste bonaerense es *agrícola-ganadero* con predominio de cultivos de verano, y ganadero-agrícola con predominio de invernada y ciclo completo (cría, recría, invernada), y producción láctea (Gabellone *et al.*, 2003; MAA, 2007b). Estos términos se explican en Anexo A-5.1.

Estos sistemas productivos inicialmente, permitieron mejorar el resultado económico del área, pero con incrementos de márgenes de rigidez y del riesgo empresario al ser sistemas productivos poco flexibles, principalmente con eventos como la inundación, ya que las empresas se enfrentan a múltiples efectos negativos que limitan la posibilidad de respetar planteos productivos preparados para otro contexto (imposibilidad de cultivar, recolectar, transportar la producción, manejar al ganado vacuno, desplazar equipo y personas, efectos en la sanidad de plantas y animales, entre otros).

Asimismo, si bien la implementación de prácticas de conservación de suelo ha sido muy importante a nivel provincial, llegando por ejemplo a producirse en cultivos como la soya en un 60% del área bajo sistemas de *siembra directa* (ver Anexo A-5.1), en la región del noroeste, esto ha sido mucho menos marcado, lo que sumado a las características de los suelos, condujo a importantes pérdida por erosión de los mismos (MAA, 2007). En relación con los sistemas de producción ganaderos basados en la invernada de ganado bovino, se destaca que se caracterizan por tener nivel de productividad de pastura perenne y verdeos, por debajo de sus potenciales, así como baja eficiencia en el aprovechamiento del forraje producido. Por otra parte, la producción de forraje es estacional, el forraje conservado tiene baja digestibilidad, y la pastura con mayor nivel tecnológico, una alta incidencia de *empaste* (ver Anexo A-5.1). En general en la región hay insuficiente control de aspectos sanitarios, situación que se agrava en época de inundación por la mayor incidencia de enfermedades y desequilibrios nutricionales.

Surgen entonces dudas concretas sobre la continuidad de los actuales sistemas productivos ante la fuerte caída del ingreso, enorme pérdida económica, y fragilidad de los ecosistemas (Paoli y Giacosa, 2003b; García, 2003).

A continuación se presenta y *describen las principales actividades productivas*, que se desarrollan en el área de estudio (PMI, 1999).

Entre los cultivos, se tiene principalmente: *Zea mays L.*, maíz; *Helianthus annuus*, girasol; *Glycine max L.*, soya; y *Triticum aestivum*, trigo. Se destaca una especialización por cultivo según la zona agroecológica: ZAE4, cultivo de girasol y maíz; en la ZAE5, girasol, y en la ZAE3, cultivo de soya y maíz. Al considerar los cuatro cultivos mencionados, la zona 4 es la que posee la mayor producción de grano, por superficie sembrada y cosechada, no obstante el rendimiento es algo menor que en la zona 3, por menor precipitación especialmente para maíz y trigo.

En ganadería se utiliza al pastizal natural como recurso forrajero y pastura implantada, estas son de tres tipos principales: *i) Medicago saliva L.*, alfalfa, *ii) pastura basada en Festuca arundinacea*, festuca alta y *Trifolium sp.*, tréboles; y *iii) a base de Thinopyrum ponticum (ex Agropirum elongatum)*, agropiro alargado, y *Melilotus sp.*, trébol de olor. Asimismo, se incluyen para uso ganadero verdeo de invierno, principalmente *Avena sativa*, avena y *Secale cereale*,

centeno. Las zonas agroecológicas 3, 4 y 5, son importantes productoras de carne bovina. La zona 4 produce más del 20% de la producción regional de toda la Cuenca del Salado, siendo la actividad principal la invernada y en menor medida el ciclo completo, que incluye la cría, recría, y invernada de ganado bovino; es además la zona con mayor producción láctea de ganado bovino, raza Holando Argentino, con 25% del total regional.

Las rotaciones de cultivo más difundidas en las tres zonas agroecológicas que integran el noroeste bonaerense, incorporan un ciclo agrícola que varía de 5 a 10 años, y un ciclo ganadero de 4 a 5 años. La rotación, que es la secuencia de cultivos y/o pasturas que se planifican para un sitio en particular y un periodo de tiempo dado (en general se consideran periodos de 10 años), se basa en la elección de especies vegetales y actividades a incluir en dicha rotación por características edáficas, climáticas, económicas, y productivas.

Tabla 2.10 Tipo de suelo, rendimiento en grano de los cultivos agrícolas (kg/ha), y pasturas (kg/ha/año de materia seca) para el noroeste (adaptadas de PMI, 1999)

Suelo	Girasol	Maíz	Maíz tardío	Soya	Soya 2da.	Trigo	Trigo tardío	Pastura 1	Pastura 2	Pastura 3
<i>Hapludol taptó árgico</i>	3000	3000	3000	3000	2250	4000	4000	12000	11000	7000
<i>Hapludol taptó nátrico</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4200
<i>Argiudol ácuico</i>	2400	2400	2400	2400	1800	3200	3200	9600	8800	7000
<i>Hapludol típico</i>	3000	2400	2400	3000	2250	4000	4000	12000	11000	7000
<i>Haplustol udorténtico</i>	1800	4800	4800	3000	1800	3200	3200	12000	11000	7000
<i>Natralbol típico</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.36
<i>Haplustol údico</i>	3000	8000	8000	3000	1800	3200	3200	12000	11000	7000
<i>Hapludol éntico</i>	1440	4800	4800	1800	1350	2400	2400	7200	6600	4200
<i>Natracualf típico</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Udipsament típico</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4400	2800
<i>Haplustol éntico</i>	1.92	4800	4800	2400	1350	3200	3200	9600	8800	5600
<i>Ustipsament típico</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4400	2800
<i>Haplustol típico</i>	1800	4800	4800	1800	1350	2400	2400	7200	6600	4200
<i>Hapludol ácuico</i>	2400	10000	10000	3000	2250	4000	4000	12000	11000	7000

Soya 2da., se realiza luego del trigo, como segundo cultivo en el mismo año productivo.

Maíz tardío y trigo tardío, sembrado en fecha posterior a la óptima para máximos rendimientos.

Pastura 1, a base de alfalfa (*Medicago sativa*) - *Pastura 2*, a base de festuca (*Festuca sp.*) y trébol (*Trifolium sp.*) - *Pastura 3*, con base en Agropiro "agropiro alargado" (*Thinopyron ponticum* y *Melilotus*).

Cada suelo tendrá una potencialidad y limitación productiva, tal como se indicó en punto 2.1.3.1., con base en esto, el rendimiento de los cultivos varían. En la Tabla 2.10 se presenta por tipo de suelo, el rendimiento en grano del cultivo agrícola en kg/ha, y pasturas en kg/ha/año de materia seca, para la región del noroeste, adaptadas de PMI (1999). Estos rendimientos se vinculan a las clases y subclases de aptitud física de suelo para las diferentes actividades agropecuarias y forestales, presentadas en Tabla 2.5 del punto 2.1.3.1. Se destaca que el rendimiento presentado se vincula con la productividad potencial para cada cultivo en un suelo dado, habiéndose excluido en el análisis los factores climáticos y peligro de inundación-anegamiento.

El *rendimiento promedio para la región*, incluyendo el mejor suelo agrícola y años húmedos son los siguientes:

⇒ En cultivo agrícola, maíz 7,700-soya 2,800-soya segunda 2,000-trigo 2,900- girasol, 2,300kg/ha

⇒ En actividad ganaderas, para situaciones promedio de cría, ciclo completo e invernada para el área de estudio, criados en campo en forma extensiva, sobre pastura implantada, y campo natural son: cría, producción de ternero de hasta 180kg, y de carne 150kg/ha/año; ciclo completo: producción de ternero y engorde, 250kg/ha/año de carne, e invernada, engorde de terneros hasta 400kg, producción de carne 350kg/ha/año (Rosas, comunicación personal para año 2005-2006).

En el Anexo A-5.2, se indican las causas que provocan una alta variabilidad en los rendimientos mencionados, y se presenta un ejemplo en el cultivo de soya.

2.1.7.2. Estructura y organización de empresas agropecuarias

Agrupaciones de productores agropecuarios

Se indican a continuación las agrupaciones que engloban productores agropecuarios con la finalidad de mejorar aspectos productivos, económicos, comerciales, sociales, y ambientales: INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) con sus Agencias de Extensión, y programa de Cambio Rural; AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícolas); SRA (Sociedad Rural Argentina); FAA (Federación Agraria Argentina); AAPRESID (Asociación de Productores de Siembra Directa); y CARBAP (Confederación de Asociaciones Rurales de Buenos Aires y La Pampa). En el PMI (1999), se destaca que si bien, en general estas agrupaciones se encuentran bien organizadas, involucran un número muy bajo de productores. Sin embargo, se destaca que con base en la labor emprendida por algunas de estas asociaciones, tal como AAPRESID, la siembra directa se ha incrementado en forma marcada en los últimos años, el promedio a nivel provincial para el año 2005 fue una superficie implantada con sistema de siembra directa de: 55, 34, 65, 32, y 31% para los cultivos maíz, trigo, soya, sorgo y girasol, respectivamente (MAA, 2007b).

Se conoce además la existencia de 200 *cooperativas* relacionadas con el sector primario dentro de la Cuenca del Río Salado. De estas, 94 pueden clasificarse como cooperativas agropecuarias generales, 38 como cooperativas lácteas (en el Noroeste, principalmente), 28 cooperativas apícolas, 14 se relacionan con animales pequeños (conejos, aves de corral, cerdos y ovejas), 6 cooperativas de pesca (en Guaminí y Trenque Lauquen), y una relacionada con la horticultura. No obstante, se indica que de éstas, aproximadamente el 30% han desaparecido en años recientes, por dificultades organizativas. La mayoría de las cooperativas agropecuarias son en la actualidad cooperativas comerciales, si bien algunas proporcionan otros servicios tales como laboratorios de evaluación de suelo. Se destaca entre estas, a la Asociación de Cooperativas Argentina que es un importante comercializador y exportador de granos. También se desarrollan cooperativas en el sector de la miel, y existe interés para desarrollar cooperativas de manufacturación a fin de aumentar el valor agregado de las empresas locales, y con menor alcance, la posibilidad de desarrollar cooperativas de seguro (PMI, 1999).

Empresas agropecuarias

En el PMI (1999) se indican los siguientes tipos de empresa agropecuaria en el área del proyecto: i) empresas o empresarios con otra fuente principal de ingreso, normalmente productores ganaderos que no viven en el sitio y emplean trabajador asalariado; ii) agroempresas mixtas de agricultura-ganadería, con maquinaria propia, mano de obra asalariada, y con frecuencia rentan una extensión de tierra; normalmente administrada por el propietario; iii) empresas familiares de explotación ganadera que sufren descapitalización; alto número de los productores residen en el campo y rentan tierra para realizar cultivo; iv) empresas familiares independientes, mixtas de agricultura y ganadería.

En el Anexo A-5.3, se amplía sobre las características de las empresas agropecuarias, en relación a la incidencia de las dimensiones de los establecimientos productivos y del sistema de arrendamiento de campos, en el resultado económico y ambiental, y se presentan márgenes brutos de los cultivos en el noroeste bonaerense.

En la Tabla 2.11, se presentan algunos valores que reflejan lo indicado respecto a la disminución de la actividad ganadera, aumento de rendimiento, y aumento de precio de la tierra (MAA, 2007b).

Tabla 2.11 Evolución de precio de la tierra, existencia ganadera y rendimiento de cultivos (MAA, 2007b)

	Año	Carlos Casares	Pehuajó	Trenque Lauquen
Precio de la tierra (USD/ha)	2001	1,500 a 2,000	1.000 a 1.500	900 a 1.300
	2006	3,000 a 4,000	2,200 a 3,500	2,200 a 3,000
Existencia ganadera (bovinos totales).	1994	212,852	413,539	488,789
	2006	199,753	362,985	428,817
Rendimientos (kg/ha)				
Girasol	2001-2005	2,313	2,244	2,276
	2006	2,800	2,600	2,500
Maíz	2001-2005	7,580	7,420	7,330
	2006	8,500	8,300	7,800
Soya	2001-2005	2,864	2,821	2,558
	2006	3,130	3,030	2,930
Trigo	2001-2005	2,981	2,881	2,781
	2006	3,908	3,800	3,500

2.1.7.3. Implicaciones socio-económicas de inundaciones y sistemas productivos.

Desde la perspectiva socio-económica, los estudios realizados en la región de estudio son muy generales ya que están referidos a la provincia de Buenos Aires en su conjunto, con algunas indicaciones específicas para las diferentes regiones (Iacobucci, 2000). Asimismo, igual que en trabajos de índole técnica, los estudios socio-económicos poseen escasa articulación interdisciplinaria en objetivos y recomendaciones finales.

Iacobucci (2000) respecto al efecto en la sociedad urbana y rural, destaca que uno de las tres respuestas principales que son resultado de una inundación es el desaliento al asentamiento, cuando no se impide lisa y llanamente; esto se suma al grave perjuicio que provoca en la infraestructura vial y urbana (cloacal, sanitario, vivienda, red de agua, electricidad), y finalmente resta tierra para la producción agropecuaria.

MP-INTA (2005), analizan la evolución y participación del PBI (*Producto Bruto Interno*), de la región del noroeste en el PBI de la Provincia de Buenos Aires, encontrando variaciones importantes asociadas con las inundaciones. Así, en 1976 la región del noroeste aportó el 32.28% del PBI de la Provincia de Buenos Aires y en 1986 disminuyó al 29.2% como consecuencia de las pérdidas ocasionadas por la inundación que afectó a toda la Pampa arenosa. En el período 1976/86 se observa disminución del 16% en la participación del sector primario (43.7% en 1986); una disminución del 1.48% del sector secundario (5.72% en 1986), y en el sector terciario indica un crecimiento del 17.4% (50.5% en 1986).

En la región noroeste en general y en el partido de Pehuajó en particular, se indica que el impacto demográfico más significativo provocado por la catástrofe de la inundación es el *proceso migratorio de la población* de la zona rural al área urbana; originando un desmedido incremento (90% de la población urbana); a esto se le une la migración regional, que se tradujo en un crecimiento demográfico descendente atribuible a la afectación economía local y regional. Así, a fin de establecer el ritmo con el que ha evolucionado la población de los partidos del

noroeste de la Provincia de Buenos Aires se analizó la *Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC)*, que es la cantidad neta de población que se incorpora por un lapso de tiempo a la región. En el período 80-91 fue de 3.45‰, menor al de toda la provincia (13.30‰) y de todo el país (14.70‰). Todos los partidos de la región, comparten bajas *Tasas de Crecimiento*. Pehuajó, conjuntamente con Carlos Tejedor, Bolívar, H. Yrigoyen y Carlos Casares no superan ni siquiera la TMAC de la región de 3.5‰ y se hallan con tasas de crecimiento de muy baja a negativa. Esta situación coincide con partidos que han sufrido y sufren el profundo impacto de la catástrofe de inundación (MP-INTA, 2005).

MP-INTA (2005) indican que a los efectos de las inundaciones, se suma la tendencia a emigrar, tendencia que la región presenta al igual que toda la provincia desde la década de 1950, donde el movimiento es de zonas rurales y pequeños pueblos a áreas urbanas. El abandono de la zona rural, conocido normalmente como *éxodo rural* tiene su origen en causas estructurales e históricas. En general el 80% de la población vive en una ciudad debido a la escasa electrificación de zonas rurales, dificultad en el transporte, ausencia de educación superior, falta o deficiente servicio de salud, y carencia de oportunidades sociales (PMI, 1999). Asimismo, la población rural carece por lo general de opciones laborales ante los cambios producidos en las estructuras agrarias, no hay mercados alternativos de trabajo y ante la reducción de la demanda de mano de obra, muchas veces la única respuesta posible es la migración, definitiva o transitoria. Por su parte, el crecimiento de la población urbana se realiza en forma desordenada y sin previsión con mayor costo e ineficiencia en los servicios. Otro indicador del proceso migratorio, es la composición por sexo, que para toda la región indica que ha disminuido el denominado *Índice de Masculinidad* en los últimos censos y se estima continuarán descendiendo. Esto también es atribuido a la disminución de fuentes de trabajo en el ámbito rural, y falta de oferta laboral en el espacio urbano. Asimismo, la región ha tenido un incremento de población envejecida, ya que más del 10% de población tiene 65 años o más de edad.

Se concluye que en general, la actividad económica y financiera, se ve fuertemente afectada por el impacto que representa tener *actividades agrícolas precarias*, ya que al producirse situaciones adversas, por la influencia hídrica, la caída de los precios, bajos rendimientos, se origina la ruptura de la cadena de pagos que afecta la actividad comercial acrecentado el nivel de endeudamiento y porcentaje de tardanza (mora) en el pago de créditos. De acuerdo con informes proporcionados por las Instituciones Bancarias Públicas y Privadas para consultas realizadas por la Municipalidad de Pehuajó y la Cámara de Comercio, el endeudamiento privado supera los US\$17 millones con una mora aproximada del 30% (MP-INTA, 2005).

El aumento de la desocupación y el nivel de pobreza definen productores rurales desplazados, incremento en la población peri-urbana, y mayor número de desempleados. Los productores que permanecen que recurre a producciones alternativas o tradicionales, con forma organizativa original, como una opción para generar ingresos o para la auto-producción de alimentos, esto ha adicionado necesidades concretas y novedosas. Sin embargo, sin la intervención activa de instituciones, y en particular del Estado, el proceso de concentración-exclusión continuará agravándose, asimismo, sin políticas activas, las áreas o territorios con menor dinamismo continuarán rezagándose respecto de los más desarrollados (RIAP, 2007).

2.1.7.4. Potencialidades y limitaciones al desarrollo regional

Potencialidades para el desarrollo regional

Respecto a las posibilidades de desarrollo productivo del área, en el informe final del PMI (1999) se indica que la economía de la región está dominada por actividad agropecuaria (agricultura y ganadería), no existiendo indicio de cambio ni posibilidad de importancia para el desarrollo de otros sectores productivos, por lo cual se recomienda que sea el sector primario agropecuario donde se planteen las propuestas que permitirán la mejora social y económica

buscada. Asimismo se pronostica para los próximos 20 años, que circunstancias económicas externas y desarrollos tecnológicos serán los que definirán el alcance de dichas propuestas. Sin embargo, esto no es coincidente con lo indicado por otros autores en el país, y no se corresponde con la actual tendencia a nivel mundial de ajustar las necesidades de la población con la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Así se indica incorporar nuevas alternativas productivas que contribuyan al control de las inundaciones, así como en los beneficios socio-económicos de la región. Entre estas actividades se destaca: *forestación, silvopastoreo (punto 2.3.2.2.) y acuicultura*, analizado en punto 2.1.6.

Iacobucci (2000) destaca la importancia que tendría en la región la incorporación de la forestación, indicando, que si bien la región se caracteriza por producción agrícola y ganadera vacuna, presenta suelos con muy buena aptitud para forestación, indicando que de 6.5 millones de hectáreas alrededor de 3.5 millones pueden destinarse a la producción forestal.

RIAP (2007) indica para toda la región norte de Buenos Aires, que incluye el noroeste bonaerense, que si bien la actividad forestal se desarrolla principalmente en el Delta del Río de La Plata, con 75.000ha cultivadas con salicáceas, 14.000ha con álamo y 61.000ha con sauce, lo que representa el 6.8% de la superficie nacional con bosque implantado, el sector tiene posibilidades de expansión debido al incremento en la demanda de madera de calidad, pero requiere de generar y aplicar prácticas tecnológicas. Destaca que la implementación de sistemas silvo-pastoril son una oportunidad para mejorar la competitividad del sistema productivo.

Potencialidad forestal

La provincia de Buenos Aires posee más del 50% de la industria maderera del país, indicándose en el informe del PMI (1999) que la Cuenca del Río Salado, presenta una muy importante potencialidad productiva económica que debería desarrollarse. Así, en el sector del noroeste bonaerense (zonas agroecológicas 3, 4 y 5) hay entre un 70 y 90% del suelo con muy buena aptitud para el desarrollo de las siguientes especies: *Eucaliptus camaldulensis* (EC), *Eucaliptus globulus* (EG), *Eucaliptus viminalis* (EV) y *Populus deltoides* (PD).

Las ventajas comparativas que se indican para el desarrollo comercial de la actividad forestal en la región son las siguientes:

- *Valor histórico económico de la tierra y beneficios aceptables.*
- *Rendimientos medio a alto*, con la adecuada elección de especies y ubicación.
- *Vivero forestal* proveedor de plantines para trasplante directo a sitio definitivo.
- Posibilidad de darle al producto forestal *diferente destino*, lo que permite ajustar las hectáreas dedicadas a la actividad dentro del contexto productivo general, debiendo sin embargo, ubicarse en un radio próximo para el abastecimiento final.

En la Tabla 2.12, se presentan *Rendimientos* medios anuales ($m^3/ha/año$), estimados como posible en función de la posición topográfica que ocupa en el relieve así como el efecto por el tipo de sistema de flujo de agua subterránea a captar (local ~ dulce; intermedio ~ salobre; regional ~ salino).

Sobre los destinos, superficies y ubicación se indican a continuación:

⇒ *Sector exportador de rollos y de chips* de eucalipto. En este caso el territorio de abastecimiento puede situarse en un radio de 350 a 400km, con lotes forestados de una a 20ha. Estos números reflejan que como el destino sería uno de los que menos transformación ocasionaría en el medio, y que el desarrollo forestal sería lento y sostenido.

⇒ *Aserradero de tamaño pequeño a mediano*, 1,000 a 10,000m³/mes, consumiendo eucalipto y álamo, para abastecer el mercado de la construcción, cajonería y muebles. La demanda de estos productos ya existe y es provista actualmente con madera originaria de Corrientes y Misiones en Argentina, así como con madera de Chile. Los lotes destinados a forestación deberían variar entre 5 a 50ha; estar situados en un radio menor a los 250km del destino. Por ejemplo, las fábricas de parquet utilizan eucalipto colorado (*E. camaldulensis*),

⇒ *Fabricación de pulpa y/o papel*, que demanda la existencia de una masa crítica forestal de proporciones superiores. El consumo en este caso se eleva desde un piso de 10,000 hasta por ejemplo 35,000m³/mes. Para 10,000m³/mes, se necesitan por lo menos 10,000ha. Actualmente, para estos fines hay un consumo importante de especies de: *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus dunnii*, y *Eucalyptus globulus*

Tabla 2.12 Rendimiento medio anual (m³/ha/año) de especies según posición en el relieve y tipo de suelo y agua

Especies	Loma	Media loma	Flujo local (Bajo dulce)	Suelo salino, sódico
Eucalyptus viminalis	30-35	25-30	15-20	0-10
E. globulus	30-35	20-25	0-10	0
E. camaldulensis	20-25	15-20	10-15	10-15
Populus SP.	25-30	20-22	15-20	5-10

Por último, se destaca el **rol hidrológico** de la forestación y en sistemas reales de producción, aspectos que se analizan en punto 2.3.1.3 sobre biodrenaje, y 2.3.2.2, sobre plantaciones forestales.

Limitaciones para el desarrollo regional

En el PMI (1999) se indica que el objetivo principal de dicho Plan, es desarrollar la potencialidad económica de todas las actividades relacionadas con la región dentro de un referente de desarrollo social que considere al ambiente. Sin embargo, se indican un elevado número de características que limitan y restringen el desarrollo de la región. Asimismo, MP-INTA (2005) indican que la alta fragilidad ambiental de la región para el desarrollo de actividad agropecuaria, donde la alternante condición de déficit y exceso hídrico, agudiza la problemática socioeconómica que enfrentan principalmente los llamados “pequeños y medianos” productores, con superficie insuficiente para satisfacer la necesidad de una familia.

Entre las restricciones sociales y económicas que limitan la intensificación y desarrollo de actividades productivas se indican: capital de trabajo insuficiente; créditos onerosos y difíciles de obtener; régimen de tenencia de la tierra, alto costo de las mejoras a introducir; impuestos altos; y una cultura argentina que tiende al individualismo más que a un enfoque cooperativo para la solución de problemas. Esto se agrava debido a una ausencia de conocimiento de la administración agropecuaria por parte de los productores y falta de difusión de información existente. Asimismo, las agrupaciones de productores agropecuarios, agrupan un número reducido de ellos.

Sin embargo, es oportuno comentar que el “*individualismo argentino*” a que hace referencia el PMI (1999) muy posiblemente se asocia a un hecho más aceptado y generalizado que es el descreimiento de la sociedad en general a la intencionalidad de las acciones de gobierno, así como a una ausencia de claridad y compromiso a largo plazo en sus programas. En general, los objetivos son políticos e inmediatos, mas que desarrollos programados y sustentables, se aplica una mal entendida equidad social al desarrollar programas y propuestas que difícilmente revierten situaciones críticas socioeconómicas del productor peor posicionado, por no ser propietarios de la tierra que trabajan, de escasa superficie, falta de crédito, limitada educación y

servicios, entre otros. Se destaca, lo comentado en punto 2.3.2.2 sobre el origen de los sistemas productivos en la Argentina, que lejos de ser individualistas, tuvieron un origen asociativo y cooperativo, tal como señala (Sanhueza, 2002).

En general, hasta la fecha las acciones implementadas han sido realizadas para paliar situaciones, pero sin invertir para conocer el funcionamiento de los sistemas naturales que se pretenden regular cometiendo además una de las mayores inconsistencias técnico-científicas que es el establecer con frecuencia límites jurisdiccionales y no ambientales.

En el Anexo A-5.4, se amplía el presente tema, haciendo hincapié en las restricciones jurídico-administrativas, institucionales, físicas, y culturales para el desarrollo regional, de la ganadería, agricultura, forestación y silvopastoreo, así como la viabilidad de estas alternativas productivas.

2.2. Las inundaciones en la región pampeana

El sistema hidrológico de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por su fragilidad a eventos hídricos extremos, reconociéndose que los impactos naturales más notables se vinculan con la alternancia de períodos con exceso (anegamiento-inundación) y déficit hídrico (sequía) que afectan en forma directa la actividad humana (Kruse y Laurencena, 2005), siendo esta alternancia muy marcada en el noroeste bonaerense.

INTA (2003) cuenta con registros climáticos que indican la presencia histórica de ciclos húmedos de larga duración (cincuenta años o más) que se alternan con ciclos secos. El ciclo húmedo actual ha provocado un estado de inundación semi-permanente en zonas bajas (antes productivas) e incrementos de la superficie freática (altura del límite superior del agua subterránea). Las características del terreno de la región, con una red hídrica pobremente definida sumada a un importante aumento de la precipitación dió lugar, en los últimos treinta años, a diez picos de inundación (1973, 1975, 1984, 1985, 1986, 1987, 1990, 1998, 1999 y 2001). Esto es parcialmente coincidente con lo indicado por Carballo (2002), ya que indica un número algo menor de ocurrencia de inundaciones para el oeste bonaerense: 1973, 1985, 1986, 1987, 1993, 1998, 1999, 2000, 2001. En este sentido la diferencia puede deberse a que en años recientes las superficies inundadas son más fácilmente detectables y acotadas por medio de información satelital.

En la Figura 2.39 se compararan una imagen satelital correspondiente a la inundación del año 2001, donde se resaltan los cursos y sectores con agua, provista por el INTA de Trenque Lauquen, con una imagen satelital que corresponde al año 2002, extraída de Internet. En estas se puede observar el estado de la Cuenca del Río Salado en la Provincia de Buenos Aires, así como los diferentes sistemas de lagunas del oeste, en el área de estudio, en particular en el sector de Médanos longitudinales. Se destacan además, los sistemas de Lagunas Encadenadas, en el Sur de la provincia de Buenos Aires, y Laguna Picasa, al Sur de Santa Fe.

Galetti (2003a) indica con anterioridad fenómenos semejantes, así en 1960/61 hubo abundante lluvia en la pampa húmeda, con grandes zonas inundadas por el agua de zonas más altas que destruyó zonas cultivadas y atrasaron la preparación de la tierra. Aproximadamente diez años después, en la campaña 1970/71, se repite el ciclo que produce sequía e inundación, lo cual continúa hasta el presente. Este autor indica que los ciclos son de 10 a 12 años, produciéndose periodos de lluvia mínima y máxima; una y otra tienen su efecto negativo en la evolución de la actividad agropecuaria causando pérdidas cuantiosas. Sin embargo, agricultores y organismos de gobierno no han aplicado este conocimiento de la presencia y duración de ciclos, lo cual permitiría planear el esfuerzo del trabajo y no distorsionar la planificación de los esquemas productivos.

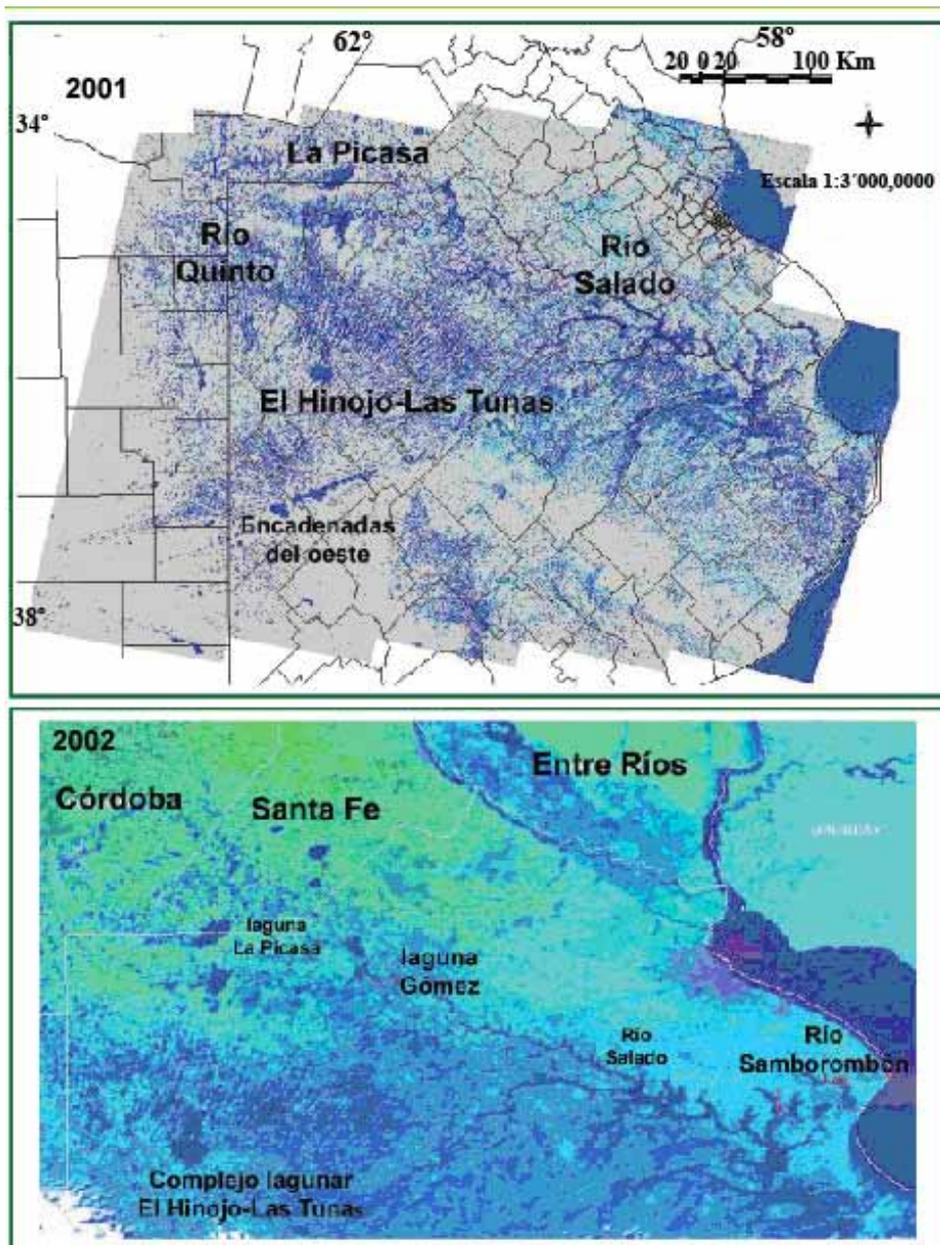


Figura 2.39 Imagen satelital de la inundación del año 2001 respecto al 2002 (facilitada por INTA Trenque Lauquen y extraída de <http://www.laesam.at.fcen.uba.ar/inundaciones.htm> respectivamente)

Spescha *et al.* (2004) analizaron el exceso de agua edáfica en 76 localidades de la Región pampeana para el período 1961-2003, encontrando que el mayor exceso se da en otoño y que existe una tendencia creciente durante los últimos años, coherente con el aumento de la precipitación. Estos se incrementan hacia el nordeste de la Región Pampeana, aunque los efectos adversos de los mismos se potencian en territorio plano, deprimido y sin red de avenamiento eficiente. En la distribución espacial, en toda la Región Pampeana, los autores verifican un mayor volumen de exceso en años bajo la fase *El Niño* y un menor volumen en los años bajo la fase *La Niña*, si bien los excesos no siempre van asociados con *El Niño*, ya que en algunos casos estos se dan en los años neutros y con *La Niña*. La mayor diferencia entre los años con *El Niño* y los años con *La Niña* se dan en el sector este de la Región Pampeana (N de Buenos Aires, O de Entre Ríos) que en algunos casos supera los 100mm de lámina de agua.

Para la región en general (Sallies, 2006) indica que en estos últimos veinticinco años se produce una mayor frecuencia de grandes inundaciones en la *Cuenca del Río Salado* como las de 1977, 1978, 1980, 1985, 1986, otoño de 1992 en la Cuenca alta Sur, en otoño de 1993 en la Cuenca alta Norte, en otoño de 1998 en flanco Sur de la Cuenca, en la Pampa Arenosa en 1973 y los grandes anegamientos de 1985-1986. En la región de las *Encadenadas del Oeste* en 1985-1986 y en 1992. En 1998 nuevamente grandes excesos de agua cubren los bajos entre las lomas medanosas de la región. Monti (2001) indica que en el 2001 se producen grandes inundaciones en el sur de Santa Fe, en la laguna La Picasa y en el noroeste bonaerense, en Carlos Casares, Trenque Lauquen, Rivadavia, entre otros. También en la Cuenca del Salado Norte y flanco sur hasta la localidad de Cacharí, a mediados de abril de 2002 importantes lluvias provocan inundaciones en la Cuenca del Río Salado, sobre todo en su parte sur, con desbordes del Arroyo Azul y Tapalqué. En Noviembre de 2002 continúan grandes excesos hídricos en toda la provincia de Buenos Aires. Por el contrario, en los años 2004 y 2005, la precipitación en algunos sitios de la región es menor que lo normal en los últimos 30 años, presentándose lagunas y bajos secos, como en la mayoría de la provincia de Buenos Aires, a lo que se puede preguntar si es posible que se esté iniciándose un nuevo ciclo de sequía.

Existen coincidencias entre los diversos especialistas que se han abocado a establecer las razones de las inundaciones que ocurren en la región pampeana en particular de que éstas corresponden a *causas naturales y antrópicas*.

Causas naturales: el régimen hídrico del área de estudio se ha visto reflejado en dos condiciones contrastantes: la inundación y la sequía. Estas condiciones en general han sido registradas en forma cíclica en la región pampeana desde 1576 a la actualidad. El último ciclo húmedo, se inició en la década de 1970's registrándose las inundaciones más graves en 1980 (Moncaut, 2003). Ameghino (1884), indicaba desde entonces que las sequías eran más graves que las inundaciones, y que esta alternancia muy posiblemente ocurre desde épocas geológicas pasadas. Según este autor, las condiciones físicas presentes y pasadas del territorio argentino permiten suponer que hasta incluso desde el Terciario las lluvias en el país ocurrieron en forma irregular. Si bien algunas de las observaciones en que basa sus afirmaciones este autor son empíricas, son muchas de ellas observables hoy día en la provincia de Buenos Aires.

Se destaca lo indicado por Ravelo *et al.* (2000) respecto a que las sequías en la Argentina son una de las principales adversidades que afectan en forma recurrente y con extrema severidad a las regiones destinadas a la agricultura. Estos autores desarrollan las bases para el desarrollo de un sistema operativo de detección y alerta de la sequía para fines agrícola – ganadero, utilizando la combinación de información terrestre e imágenes satelitales, y desarrollan un plan de acción a nivel nacional y regional para implementar estrategias de lucha contra la sequía. Sin embargo, en el Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación, que se inicia en 1995 en la Argentina, si bien se incluyen las provincias más críticas en relación a los problemas de desertificación, no se considera al noroeste bonaerense, muy posiblemente porque se han centrado las acciones en la región en relación a las inundaciones, situación que debería revertirse, considerando además las épocas secas.

Tal como se mencionó, en el informe del INTA (2003), se indican que los registros climáticos zonales muestran la presencia histórica de ciclos húmedos de larga duración (cincuenta años o más) que se alternan con ciclos secos. El ciclo húmedo actual provocó un estado de inundación semi-permanente en las zonas bajas (antes productivas) e incremento de la altura de la superficie freática. Existe una tendencia a tratar las inundaciones como "fenómeno" o "anomalía" suponiendo que son desvíos de una situación de una supuesta normalidad. Sin embargo, durante los últimos treinta años las situaciones de inundación o anegamiento se han transformado en parte del relieve regional variando en intensidad según año y lugar.

En general se ha considerado que la mayor frecuencia de crecidas extremas y de lluvias excepcionales es causa del incremento del problema de inundación (Paoli y Giacosa, 2003a). La última fase húmeda se inicia a partir de los años 1970's en el oeste bonaerense, donde el promedio anual de lluvia pasó de 600-700mm a 1,000mm, con algunos años que alcanzan 1,400mm de precipitación en algunas localidades (Carballo, 2002). Así, se aprecia que el aumento de la precipitación por encima de la media histórica, condujo a un traspase de clima semi-árido a clima subhúmedo-húmedo en el noroeste bonaerense (Etcheverry, 2003). Esto se presentó en la Figura 2.36, y aquí se aprecia en la Figura 2.40 donde se presentan isohietas de dos periodos, 1941-1970, y 1971-2004 (extraídas de Kruse y Laurencena, 2005).

No obstante, otros aspectos involucrados con esa respuesta aún esperan ser planteados, como por ejemplo la importancia inherente al agua subterránea y su jerarquía comparativa con la que acaece directamente sobre el territorio.

Paoli y Giacosa (2003a) mencionan para el periodo 1970-2000 a una media superior, según el sitio, del orden de 200mm, un 24% respecto a la primera parte del siglo XX, y Kruse y Laurencena (2005) indican un incremento de la precipitación de 150mm/año para los periodos 1941-1970 y 1971-2004. Paoli y Giacosa (2003b) reportan un incremento de un 5 al 50% de la precipitación en la región pampeana, y específicamente para el sector de estudio entre 10 y 35%. El período lluvioso se concentra en verano hacia mediados de otoño en que precipita un 70-75% del total anual, y período seco en el invierno y segunda mitad de otoño en que precipita el 25-30% restante.

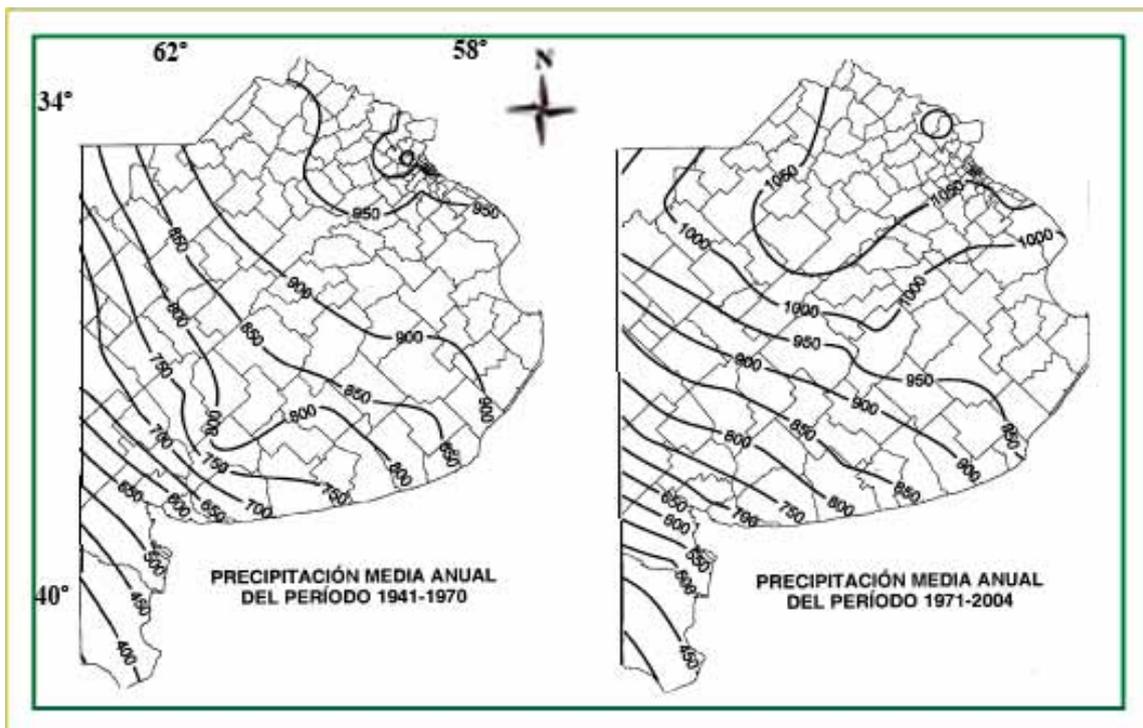


Figura 2.40 Isohietas de dos periodos, 1941-1970, y 1971-2004 (extraídas de Kruse y Laurencena, 2005)

Paoli y Giacosa (2003a) indican que desde el punto de vista de la precipitación, dos son los factores fundamentales que inciden en la definición del grado de importancia que tiene una determinada situación de inundación: i) la serie temporal de eventos lluviosos que producen una mayor o menor acumulación o recuperación de su capacidad de almacenamiento; y ii) la extensión del fenómeno en superficie. La precipitación en exceso, duplicando o triplicando la

media esperada presenta diferente impacto según suceda en un mes aislado o en varios consecutivos. La probabilidad de que se reitere lluvia de magnitud elevada en una localidad es baja, pero que pueda presentarse en cualquier sitio de la región es bastante alto. Así, lo que afecta a una localidad afecta a las vecinas que se hayan interconectadas a nivel regional, principalmente en su avenamiento, y los autores estiman que conduce a un exceso hídrico general que al sumarse imposibilita la evacuación del agua. Sin embargo, la conexión hídrica subterránea no es incorporada por estos autores, lo cual resulta esencial a fin de comprender la dinámica del agua en un sitio, conociendo las conexiones y vinculaciones que el agua subterránea posee con el agua superficial y con el resto del sistema suelo-vegetación.

Al respecto, se destaca que el área de estudio se encuentra ubicada al sur de una gran región denominada *Pampa Central Oeste* o más conocida como *área de derrame del Río Quinto y arroyos del sur de Córdoba*, es en su mayor parte una superficie típica de llanura, cuya pendiente regional principal es NW-SE, que presenta valores disímiles, que generan distintos ambientes hidrológicos y consecuentemente diferente mecánica en la evacuación de excedentes pluviométricos. Abarca sectores de las provincias de San Luis, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, y Buenos Aires (Figura 2.3). Así, los excesos hídricos que se dan en el noroeste bonaerense son rápidamente evacuados hacia la zona SE, zonas más bajas (Paoli y Giacosa, 2003b). Esto se contrapone con lo indicado por Krause y Laurencena (2005) quienes señalan que en el noroeste no existe un escurrimiento superficial regional, ya que consideran que los procesos prevalecientes son la infiltración y evapotranspiración, excluyendo al flujo subterráneo.

Paoli y Giacosa (2003a) señalan también que la inundación conjuga tres aspectos a considerar: *origen del agua, características del medio físico (relieve-suelo-vegetación) y uso del suelo*. En función de *su origen, generalmente se presentan tres tipos de inundación*: por desbordamiento de un curso de agua; por anegamiento debido a lluvia local (suelo de baja infiltración, zona baja, deficiencia de red de avenamiento), y anegamiento por descarga de agua subterránea debido al ascenso de la superficie freática y por ser zona topográficamente baja.

La geomorfología, sistema hídrico, saturación del suelo, y elevación de la superficie freática contribuyen a aumentar la magnitud del manto hídrico que originándose en diversos sitios avanza en el área de estudio con una dirección general en el plano horizontal hacia este. Un importante transporte de sedimentos se produce en toda el área llegando a observarse un atarquinado de grandes bajos, disminuyendo su capacidad de reserva y aumentando el caudal aguas abajo. Esta característica natural: arrastre y deposición de sedimento por cambio de pendiente, la amplifica notablemente el hombre.

Causas antrópicas: diversos autores coinciden que hubo un claro aumento de la magnitud, gravedad y permanencia de la inundación como consecuencia de la intervención del hombre, por acción u omisión. En general, se reporta que no ha habido una participación de las diversas jurisdicciones municipales, provinciales y nacionales, que aporten soluciones adecuadas acordes con la magnitud del problema. Los motivos son diversos, entre ellos se puede considerar: ausencia de previsión y falta de control de la acción de particulares debido a una falta de estudios que definan el problema desde una visión interdisciplinaria lo que arroje un análisis previo de la implementación de las medidas correctivas propuestas al agua (canales, alcantarillas, desagües cloacales, derivaciones) y por la construcción de obras que no consideran la circulación general del agua (camino, vía férrea, poblados).

Algunos autores indican que los paliativos que surgían para enfrentar el ascenso extremo de agua dado, condujo en ocasiones a una situación peor de la que se trataba de mejorar. Si bien el relieve y geomorfología de la región, conducen a concentraciones de agua en lugares bajos, los especialistas en hidráulica coinciden que el manejo del agua por parte del hombre, a través de obras, condujo a agudizar la problemática en algunos sectores, aumentando la carga

hidráulica y la superficie cubierta con agua, debido a interconexiones entre micro-cuencas y depresiones, en forma natural y forzada (UNLP, 2003).

Se destaca la publicación de Hernández *et al.* (2003) quienes indican los efectos negativos de la intervención del hombre en la región pampeana en general y en el noroeste bonaerense en particular. Los autores subrayan que la ocupación de la planicie aluvial de un río redujo la sección de paso del agua e incrementó la superficie inundada y la velocidad del curso. La ocupación inconveniente de planicies aluviales de lagos y lagunas, ha sido grande en las siguientes localidades del oeste bonaerense: Villa Epecuén, Carhué, Guaminí, Trenque Lauquen y Pehuajó. Asimismo, estos autores indican que muchas obras de infraestructura se construyeron (y siguen construyéndose) sin tener en cuenta el peligro que ello acarrea en su diseño, dentro de ellas se tienen rutas y caminos vecinales, redes pluviales o cloacales y hasta paradójicamente, obras de protección o contención; señalan además que la situación hídrica se ve seriamente agravada por canalizaciones clandestinas o irregulares que lejos de disipar el peligro, lo trasladan hacia otras áreas con igual o mayor grado de compromiso, y los canales construidos por el Estado, cuyo terraplén obra como un verdadero dique, dificulta el ingreso de la escorrentía superficial generando anegamientos en sus márgenes. Se produce así un efecto no deseado, aumentando los conflictos hídricos en la región.

Estos autores concluyen que gran parte de los daños observados por las últimas inundaciones en la llanura pampeana, fueron ocasionados o aumentados precisamente por la intervención del hombre. Esto es coincidente con lo señalado por otros autores, y surge de la observación de los efectos, ya que no se ha realizado por parte de las autoridades o instituciones vinculadas, un relevamiento medido sobre las obras indicadas (canales, caminos, diques, sean estos programados o clandestinos) y sus efectos sobre el funcionamiento general del sistema hídrico.

Sobre los efectos de las obras realizadas por el hombre, se destaca, lo señalado por Ameghino (1884) respecto a la evacuación de agua mediante canales. Este autor señala que el haber homologado el problema de excesos hídricos a los que suceden en otros sitios del mundo, que no padecen déficit de precipitación en ninguna estación, es posiblemente una de las causantes de los fracasos observados en las prácticas de canales, los cuales afirma no son solución, sino por el contrario agravan la situación de la región de déficit y excesos hídricos, al degradar el suelo y cobertura vegetal. Por el contrario, destaca las virtudes que la implementación de árboles tendría en la atenuación de ambos eventos.

Relación precipitación-superficie freática

Diversos autores coinciden en señalar una correspondencia marcada entre incremento en la precipitación y elevación de la superficie freática.

En Anexo A-6, se presentan las variaciones observadas en los niveles freáticos asociado a las precipitaciones, según diferentes autores (MAA-INTA, 1986; Carballo, 2002; Kruse *et al.*, 2002, Casas, 2003; Hernández *et al.*, 2003; Ventimiglia *et al.*, 2003; Paoli y Giacosa, 2003a; Kruse y Laurencena, 2005; Risiga, en CIMA-CONICET, 2006) para la región pampeana en general con especial hincapié en el noroeste bonaerense.

En la Figura 2.41 se presentan las curvas isofreáticas para el año 1974 y 1986 extraídas de Kruse y Laurencena (2005), donde se aprecian las variaciones observadas como consecuencia de los aumentos en las precipitaciones para el periodo 1974-1986.

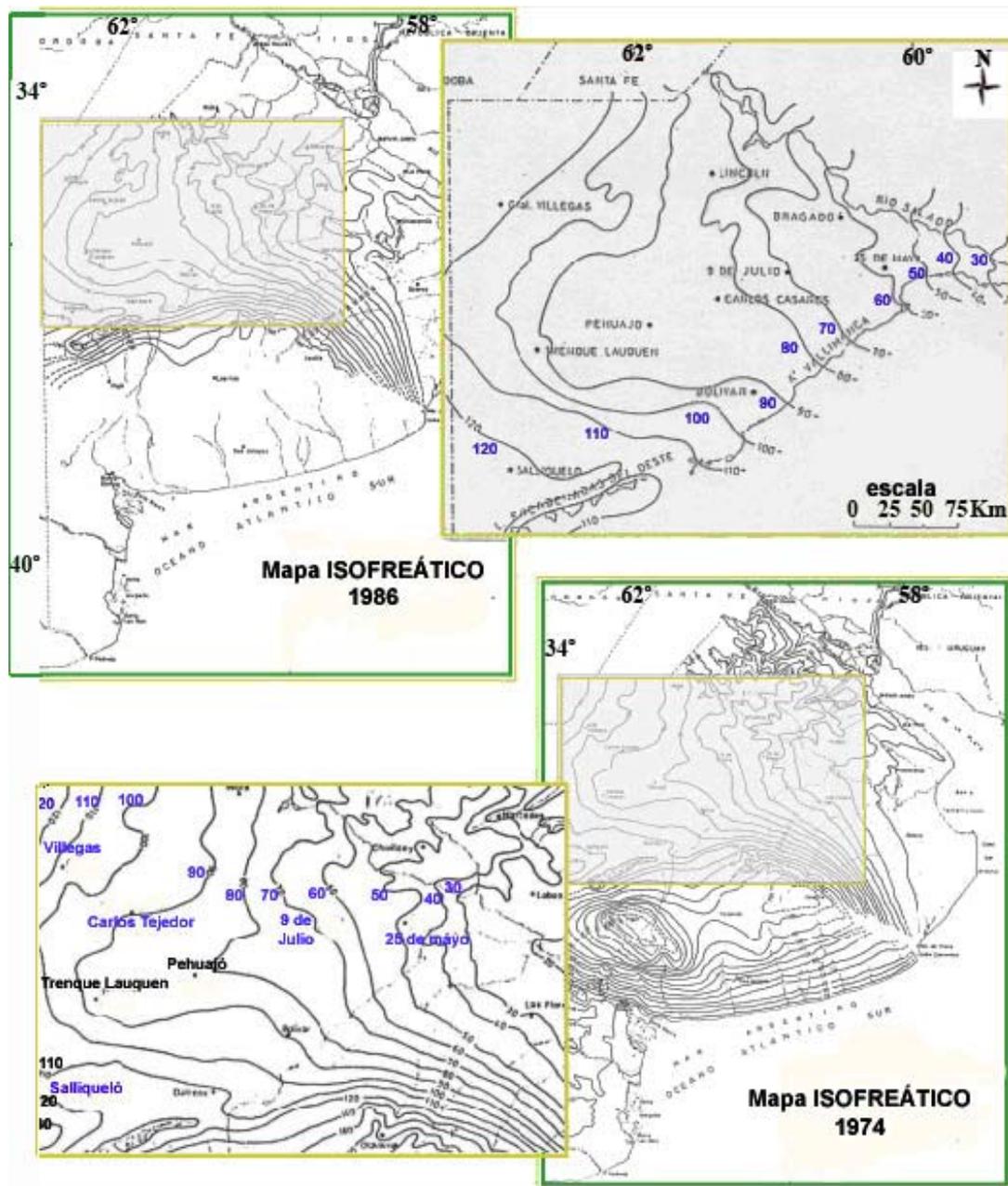


Figura 2.41 Curvas isofreáticas para el año 1974 y 1986 extraídas de Kruse y Laurencena (2005)

Del análisis de los antecedentes (Anexo A-6.1) surge que si bien hay coincidencia entre lo indicado por los diversos autores y la observación visual de los efectos de excesos hídricos, en general no se han realizado estudios sobre la química del agua que les haya permitido definir el origen real de las superficies con agua. Se destaca que Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) desestima la importancia de los flujos profundos subterráneos (Anexo A-6.1).

Sobre este punto, se destaca también el trabajo de Taboada *et al.* (2006), quienes realizan un análisis pormenorizado sobre las inundaciones en la región pampeana, su posible origen, y consecuencias sobre los suelos. Encuentran también una vinculación directa entre la profundidad de la freática y el efecto en el suelo, sin embargo, analizan un aspecto diferente, al percibir que existen diferente calidad de agua y efecto disímil sobre el suelo. Estos autores sin

embargo, no explican el origen de la diferencia observada, pero indican la importancia de establecer si el agua tiene Cl^- , SO_4^{2-} o HCO_3^- . Concluyen que lejos de ser perjudicial, la inundación con agua no salina, o de lluvia, representa un evento natural de la dinámica del suelo. Estos autores, sin embargo, no asocian lo que observan al origen del efecto: *el funcionamiento del agua subterránea*. En efecto, lo que ellos claramente perciben se interpreta es la resultante de la existencia de flujos de tipo local e intermedio con sus correspondientes zonas de recarga, tránsito y descarga (Tóth, 2000).

Soluciones planteadas a la inundación

En el informe realizado por la Municipalidad de Pehuajó y Agencia de Extensión INTA Pehuajó sobre la situación del partido ante las inundaciones (MP-INTA, 2005) se describe brevemente las secuencias en que se fueron dando los programas de canalización en el oeste de la provincia a fin de evacuar excedentes de agua. Así, estos autores indican que el criterio de evacuación de agua, hizo resurgir una antigua controversia planteada a fines del siglo antepasado por Ameghino (1884) quién sostenía que se debía plantear el tema inundación conjuntamente con la sequía, dada la interrelación existente entre ambos fenómenos, proponiendo obras de retención y almacenamiento en forma de estanques, y no obras de desagüe ilimitado. En esa época la polémica se solucionó a favor de la construcción de canales, como por ejemplo el plan NYSTROMER (1899) construidos en la Cuenca del Río Salado. Esta discrepancia se reitera más recientemente, con el inicio del nuevo ciclo húmedo. Así, en MP-INTA (2005) mencionan el manejo de la inundación en tres etapas.

En la *primera etapa*, se canalizaron los excedentes del Río Quinto hasta el año 1983, sin considerar las zonas que se iban a afectar y la problemática futura, no se incluía un plan integral. La *segunda etapa*, a partir de 1984, se prioriza el criterio conservacionista de Ameghino (1884) y se trató de lograr que el sistema se auto regule, teniendo como prioritaria, la seguridad de los cascos urbanos. Se adoptaron medidas paliativas a los inconvenientes que iban surgiendo, como por ejemplo: construcción de alcantarillado, alteo, corte de lomas, construcción de diques, etc.

Como consecuencia de la permanencia del ciclo húmedo, y ante las características hídricas de la región, donde el principal curso de la cuenca del río del mismo nombre, el Río Salado, ha sido conformado por la naturaleza con un bajo aporte de agua, el caudal de mayor permanencia ha estado por debajo de los $100\text{m}^3/\text{s}$, y se encuentra en una vasta llanura de escasa pendiente, ha condiciona fuertemente la capacidad de conducción del curso, por lo cual ante eventos importantes en la cuenca, el río es incapaz de conducir eficientemente hacia el mar el excedente de agua que aporta toda el área. Se inicia entonces, la *tercera etapa* de obras en 1987, desde el gobierno provincial bonaerense mediante la implementación del denominado *Plan Maestro Integral (PMI) del Río Salado*, proponiéndose un manejo sustentable del agua como integrante de sistemas naturales (Zárate y Rosa, 2003). Este plan contempla la realización de medidas estructurales y no estructurales en una superficie de $170,000\text{ km}^2$ (incluye total o parcialmente 58 partido de la provincia). Entre las medidas estructurales, se plantea la construcción de canales de conducción y regulación de excedentes hídricos, obras viales, terraplenes de defensa, y entre las medidas no estructurales, se destaca: gestión y monitoreo de elementos naturales, mantenimiento de infraestructura hidráulica, y prácticas adecuadas de manejo de suelo, agua y vegetación (Zárate y Rosa, 2003; Maiola y Cacivio, 2003).

Este plan aplica un esquema general de desagüe, coincidente con la idea de la “gran obra hidráulica”, mediante la construcción de canales. Se inicia con la construcción de un gran canal que une el Río Salado con el Complejo Hinojo-Las Tunas a fin de evacuar sólo los excedentes de agua de inundaciones extraordinarias, mientras que los bajos del área cumplen la función de almacenar los mismos. La obra se construyó en tres tramos, que toma diferente nombre según

el sitio. El Canal República de Italia, que se extiende desde la localidad de 9 de Julio, hasta el Río Salado, a la altura de Bragado. A partir de 9 de Julio y hasta Pehuajó se denomina Canal Mercante, y desde Pehuajó hasta el complejo Hinojo-Las Tunas, Canal Jaureche. En el partido de Pehuajó se han construido además canales secundarios que articulan al canal principal (Figura 2.3 y Figura 2.42) (Zárate y Rosa, 2003; MP-INTA, 2005).

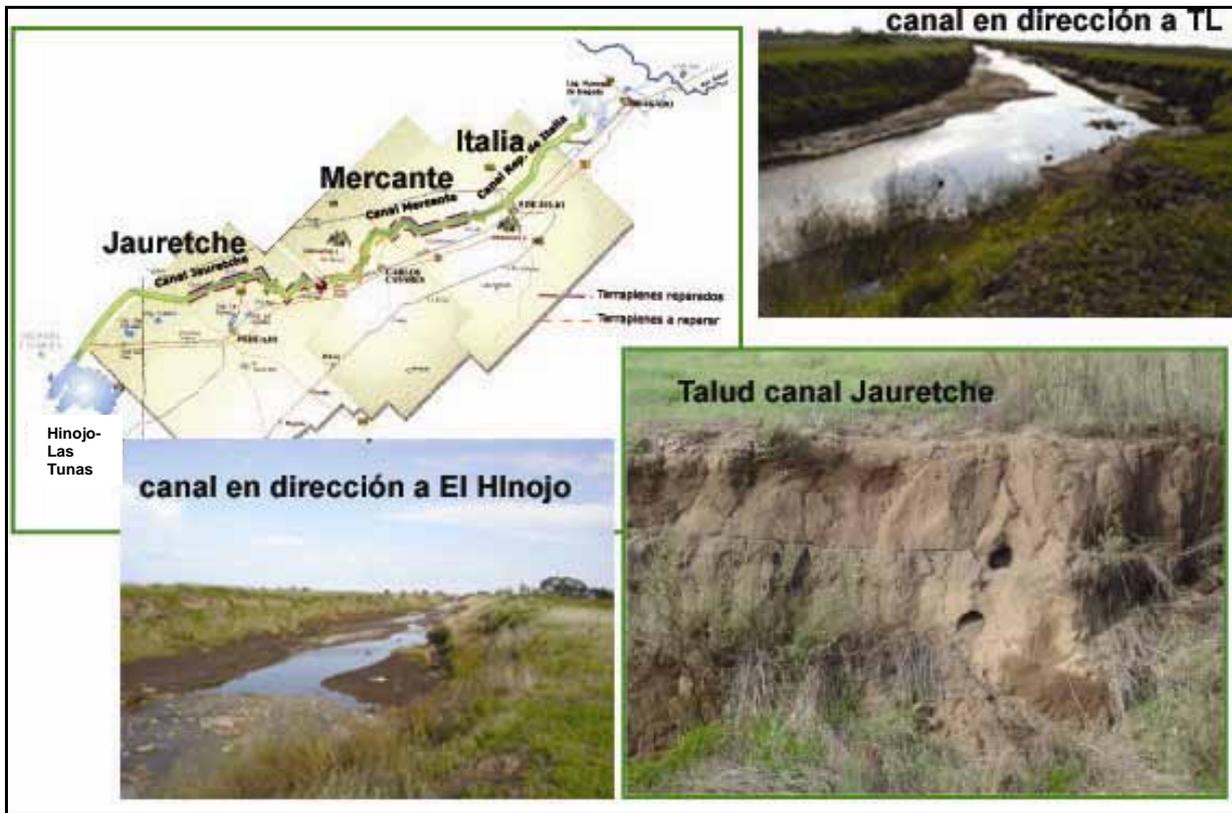


Figura 2.42 Canal Jaureche, en el sector que sale del complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, atraviesa la ruta nacional 5 en dirección a la ciudad de Trenque Lauquen

Sin embargo, MP-INTA (2005) indican que los canales podrían ser insuficientes para evacuar el exceso de lluvia. Por ejemplo, el aumento en toda la Cuenca del Río Quinto, al sur de Córdoba, puede afectar el crecimiento del Complejo El Hinojo-Las Tunas, y luego el Canal Jaureche posiblemente no podría desaguar el exceso hídrico. El caudal de drenaje de los canales varía entre $30\text{m}^3/\text{s}$ y $46\text{m}^3/\text{s}$. En Figura 2.3 se presentó el sistema de canales, y en Figura 2.42 específicamente el canal Jaureche, en el sector que saliendo del complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, atraviesa la ruta nacional 5 en dirección a la ciudad de Trenque Lauquen. Asimismo, específicamente para Pehuajó, se señala que estos canales permiten evacuar agua del norte del partido, pero no del sur, que es donde en realidad se ubican los mejores campos y en consecuencia adquiere mayor importancia su control. Otro canal importante, es el San Emilio, que drena hacia el Río Salado cerca de Bragado, desde Los Toldos y Lincoln; la parte norte de la subregión avena a través de la Cañada de Las Horquetas hacia Mar Chiquita. No obstante, es de destacar, que tanto la cobertura del sistema de drenaje como la capacidad del sistema, son relativamente pequeñas (MP-INTA, 2005).

Silveira y Güerci (2003) en contraposición con el sistema de canales proponen el *método de evacuación de bombeo por acueducto*, para lo cual indican que cada partido deberá contar con al menos una planta de bombeo adecuadamente ubicada y diseñada en su capacidad según el caso. Todas ellas deberán estar interconectadas por cañerías de plástico de polipropileno con

uniones de goma, de rápida y segura ejecución y fácil reparación, enterrados a poca profundidad para mejorar su seguridad, duración y desempeño. Estos autores, destacan que si se considera al agua como un elemento no renovable, es un derroche derramar dicha agua bombeada en el océano, por lo que proponen la construcción de una pequeña represa que recibirá el caudal total de agua bombeada, podría generar energía hidroeléctrica, y por medio de acueductos con bombeo sería sencillo orientar el líquido hacia la pampa seca y otras zonas con poca agua, incluso fuera de la provincia de Buenos Aires. Las obras serían de carácter eminentemente preventivo, por lo que deberán encararse durante épocas en la que no exista inundación. Si bien el envío de agua hacia sitios donde pueda ser usado es altamente deseable, los autores no consideran que la calidad del agua a enviar no es agua dulce, ya que es agua que drena del sistema y que incorpora agua tanto agua de lluvia como agua de descarga subterránea. Sin embargo, los autores tampoco indican cómo se podrá producir energía eléctrica sin contar con la topografía idónea para obtener la caída necesaria para mover las turbinas generadoras. Adicionalmente, estos autores destacan que los resultados del PMI (1999) serán negativos, por dos inconvenientes graves, uno el uso de metodología antigua y ampliamente superada en la actualidad, y otro el respetar los límites políticos en vez de incorporar los límites naturales de la región. Este último inconveniente se puso rápidamente de manifiesto ya que durante la gran inundación de septiembre-octubre 2001 quedó involucrada la provincia de La Pampa, agravándose así el problema. Estos autores también destacan la vinculación de la región con las de las provincias de Santa Fe y Córdoba.

Respecto a las **prácticas agronómicas** a implementar a fin de revertir el deterioro de los suelos por las inundaciones y sequías (SAGyP, 1995), se destacan las recomendaciones efectuadas por MAA-INTA (1986), MAA (1987a y b) y Casas (2003).

Estas últimas, sólo podrán ser abordadas, si se comprende como se produce el movimiento del agua subterránea, incorporando la definición de zonas de recarga y descarga, así como la jerarquía de los flujos local o intermedio y su vinculación con la salinización-alcalinización desarrollada en el suelo.

No obstante, es también necesario plantear otras cuestiones a fin de definir soluciones a la inundación. Así, en el ámbito científico y de la Geografía Ambiental, ha sido reconocida la importancia de entender la interacción entre el agua subterránea y el agua superficial, así como las implicaciones sociales y económicas involucradas en su manejo y utilización por los ecosistemas, de modo que el planteamiento de una problemática ambiental, para tener un análisis sólido, deberá incorporar una perspectiva interdisciplinaria para que la solución propuesta tenga una mayor posibilidad de aplicación en forma positiva.

El alza de la superficie freática en el ámbito mundial

El alza de la superficie freática ha sido registrada por causas diversas en varias partes del mundo, entre ellas, por detener la extracción de agua subterránea (Rushton, 2003) por medio de pozos, tal como se ha observado en Buenos Aires, Argentina (Meconi, 2004; Auge, 2004); Londres y Liverpool, Gran Bretaña; París, Francia; Moscú, Rusia. También se ha tenido el ascenso de la superficie freática por exceso de aplicación de agua (ArRiyadh City, 2005) para riego como ha sido en el Mezquital, México; Riyadh, Arabia Saudita; Yeddah, Yemen. Asimismo, se ha producido un aumento del volumen de agua en el subsuelo como respuesta al cambio de vegetación (Bell *et al.*, 1990; Punthakey *et al.*, 1996) con raíz profunda por cultivos con raíz corta como en Darling, Western Australia, así como, en el Río Murray al sur-centro de ese país. Los trabajos encontrados tienen varios aspectos en común, el alza de la superficie freática ha sido producto de la actividad humana, y también fueron resultado de no buscar entender el funcionamiento regional del agua subterránea desde la perspectiva de sistema con implicaciones tanto local como regional. En casos como el de Yeddah y del Río Murray, se

estableció como medida de control la construcción de drenes, canales y sistemas de bombeo, los que sin embargo, no han producido el efecto positivo deseado.

2.3. Manejo de vegetación y suelo: influencia del agua subterránea

En este punto se analizan las prácticas agronómicas que la bibliografía destaca por tener un efecto en el consumo de agua subterránea según estas prácticas sean implementadas en zonas de recarga o descarga de agua subterránea.

Ha sido ampliamente documentada la importancia al ciclo hidrológico del manejo de suelo y cobertura vegetal sobre avenamiento, degradación, recuperación o preservación de un sitio. Así, la relación suelo-planta-manejo, afecta el movimiento del agua superficial y subsuperficial, medida ésta como evapotranspiración, escorrentía, nivel de la superficie freática, infiltración, recarga o descarga de agua. Sin embargo, la magnitud en que estos efectos suceden así como su dirección, se modifican según el sitio, en función de un gran número de variables.

En relación con la **vegetación**, es aceptado en el ámbito científico y comunidad en general, que ejerce un efecto en el balance hidrológico al disminuir la escorrentía, incrementar la interceptación del agua de lluvia, disminuir la erosión, favorecer la acumulación de materia orgánica edáfica, aumentar la evapotranspiración, mejorar la estructura y porosidad edáfica y favorecer, en consecuencia, la permeabilidad del perfil del suelo e infiltración de agua hacia el subsuelo.

La magnitud del efecto de la vegetación dependerá del tipo de vegetación (arbórea, arbustiva o herbácea) y grado de cobertura vegetal, así como de otras características del ambiente: suelo, geomorfología, clima, sistema productivo, manejo, tiempo transcurrido desde un manejo dado, profundidad de la superficie freática, y si es zona de recarga o descarga de agua subterránea.

El efecto de los **árboles**, depende de un gran número de variables *intrínsecas al árbol* (especie: magnitud, hábito -*deciduo*, *semi-persistente* o *persistente*-, tipología aérea, densidad-*cantidad de hojas y ramas*-, sistema radicular, edad, estado, requerimiento y comportamiento); *su manejo* (densidad de plantas, disposición, turno de corte, sistema de corte, cuidado efectuado), siendo las características del *ambiente* determinantes, y a su vez afectadas, de la inclusión o exclusión de dichos árboles.

Las especies vegetales, **arbustivas o herbáceas**, tendrán diferente efecto que los árboles sobre la fertilidad física, y química del suelo, como así también, sobre el balance hídrico del sitio. Asimismo, al igual que lo indicado con los árboles, esto se vincula al tipo de vegetación y suelo, características intrínsecas y manejo. Los efectos serán muy diferentes según sea pastizal natural, pradera pura o mixta (gramínea y leguminosa), cultivo agrícola (variará el aporte de materia orgánica y preservación del suelo), sistema de labranza y conducción: sistema convencional (con remoción del suelo) o conservacionista (sin remoción del suelo) tal como la siembra directa. Así por ejemplo, la pradera con base en gramíneas posee una buena aptitud en la recuperación física del suelo (estructura) y asociada a ésta en la permeabilidad, sin embargo, no menos importante es asegurar una adecuada nutrición de nitrógeno para lo cual la introducción de leguminosas podría ser esencial a fin de asegurar el correcto establecimiento de gramíneas. El aporte de materia orgánica, aunque variable en función del cultivo, será mayor con un sistema productivo conservacionista que con uno convencional, y en consecuencia, será más permeable el suelo al agua y menor será la erosión.

Cada sitio posee una especie vegetal o combinación de ellas, que serán más propicias para un fin dado, en función de las condiciones ambientales locales, y cómo se vinculen éstas con las características regionales.

2.3.1. En la bibliografía internacional se describe la importancia de la vegetación sobre el ciclo hidrológico en una gran cantidad de publicaciones, donde los resultados generales son comunes a los que se indicaron al principio de este apartado, no obstante, aquí se presentan antecedentes con mayor detalle, agrupados en función de que se consideren o no las zonas de recarga y descarga del agua subterránea.

2.3.1.1. Prácticas de manejo y su efecto sobre zonas de recarga o descarga de agua subterránea

El agua subterránea estudiada desde la perspectiva del balance hídrico u otro método de uso frecuente

Son numerosas las publicaciones donde se reconoce el efecto que el manejo de la vegetación y el suelo tienen sobre el ciclo hidrológico, sin embargo, en general los estudios no analizan los aspectos dinámicos del sistema. Así, si bien un gran número de estos estudios describen la existencia de zonas de recarga y descarga, los procedimientos para definirla no quedan claramente establecidos, o resultan incompletos, prevaleciendo estudios que cuando incluyen el agua subterránea, se la analiza desde la perspectiva del balance hídrico u otro método de uso frecuente pero no definen la dinámica del sistema, en particular los flujos de agua subterránea (Tóth, 2000).

Entre estas publicaciones se destacan las siguientes: George, 1992; Scott y Sudmeyer, 1992; Jolly *et al.*, 1993; Richardson y Narayan, 1995; Zhang, 1998; George *et al.*, 1999; Sands *et al.*, 1999; Conacher *et al.*, 2002; Hatton *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2002; Ryan *et al.*, 2002; Humphreys *et al.*, 2003; Rengasamy, *et al.*, 2003; Haigh *et al.*, 2004; D'haeze, 2005; Murray y Buttle, 2005; Ladekarla *et al.*, 2005; Brown *et al.*, 2005; Thomas y Tellam, 2006. Los principales resultados de los cambios en la vegetación arbórea, y otras prácticas de manejo, degradaciones asociadas, así como recomendaciones en relación a los procedimientos de estudios dados por estos autores son presentados en el Anexo A-7.1

El agua subterránea estudiada desde la necesidad de definir sus flujos

Si bien ninguno de los trabajos consultados utilizan el estudio de los sistemas de flujo como procedimiento de estudio del agua subterránea, se destacan las publicaciones de Mitsch y Gosselink (2000), Van Noordwijk *et al.* (2004), Brown *et al.* (2005), Lite y Stromberg (2005) y Lascha *et al.* (2005), que aún analizando procedimientos clásicos de estudio de agua subterránea, mencionan inconsistencias, y la necesidad de incorporar otro tipo de estudio, que analice además, los flujos subterráneos a fin de responder al menos a algunos de los aspectos conflictivos detectados en sus resultados.

En el Anexo A-7.2, se presentan los principales resultados y recomendaciones efectuados por los autores mencionados en párrafo anterior.

2.3.1.2. Efecto de prácticas de manejo sobre el agua superficial

Algunas publicaciones son aún más parciales en su análisis, ya que ni reportan la necesidad de incorporar el agua subterránea, no especifican la participación de las zonas de recarga o descarga, sólo establecen efectos de la vegetación o uso del suelo sobre el movimiento del agua superficial o hasta la superficie freática; entre estas se destacan Sun *et al.* (2001), Sauer *et al.* (2005), Lite y Stromberg (2005), Whitea y Greerb (2006), cuyos principales resultados y recomendaciones se presentan en el Anexo A 7.2

2.3.1.3. Bio-drenaje: principios, experiencias, y recomendaciones

Diversos autores en Ambast *et al.* (2007) describen los principales procedimientos de drenaje implementados en el mundo a fin de controlar o recuperar situaciones de anegamiento y salinización de la tierra, por causas naturales o antrópicas: *drenaje superficial*, *drenaje subsuperficial horizontal*, y *drenaje subsuperficial vertical* (Kamra, 2007, Sondhi, 2007, Tejawat, 2007; Tomar, 2007).

Respecto a la técnica del bio-drenaje Heuperman (2003) indica que la problemática del agua somera salina que afecta a extensas regiones de Norte América, Asia, Norte de África y Australia, se han tratado en muchos sitios implementado la denominada técnica del *Bio-drenaje* (BD). Este término se utiliza actualmente cuando la vegetación tiene como finalidad manejar una situación donde se considere que el exceso de agua en el ambiente puede controlarse a través de la evapotranspiración.

Heuperman *et al.* 2002, efectúan una revisión de técnicas de manejo de vegetación arbórea con alto consumo de agua a fin de controlar la elevación de la superficie freática, control de descarga, o preventivamente interceptando el agua que se infiltra a través del suelo antes de que ésta llegue a dicha superficie freática, esto es un control de la recarga. Estos autores indican que el concepto de BD puede ser aplicado tanto para zonas regadas y sin riego, afectadas por salinidad y/o inundadas, en las cuales se implantan árboles en lugar de los métodos tradicionales de ingeniería por drenes o bombeo. No obstante, estos autores señalan la utilidad para algunos sitios con ambas técnicas: vegetación e ingeniería.

En la Figura 2.43 se presenta un esquema adaptado de Heuperman *et al.* 2002, sobre el funcionamiento de la técnica de bio-drenaje (BD).

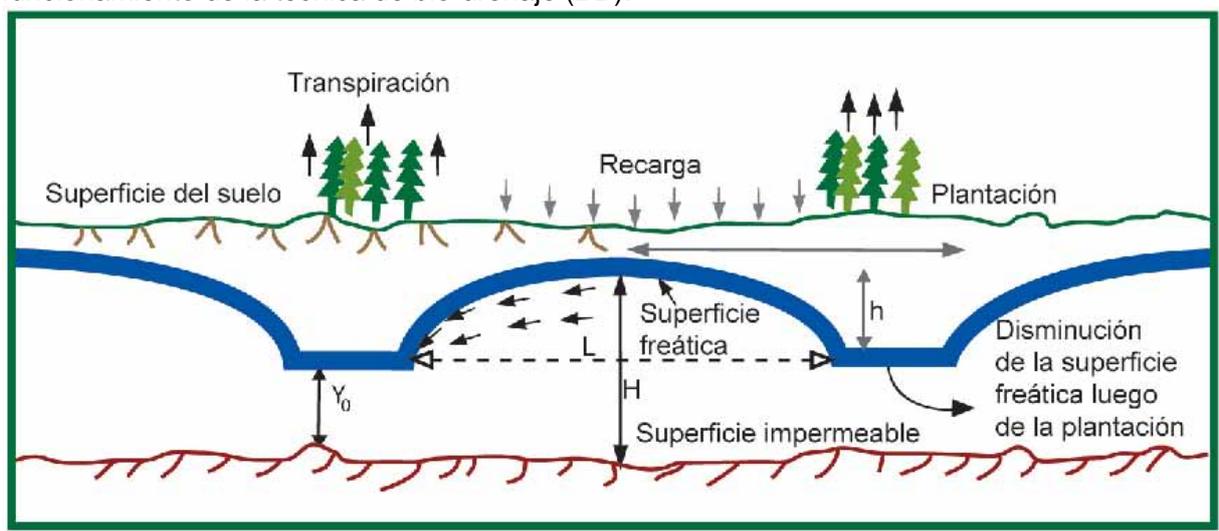


Figura 2.43 Esquema de funcionamiento del bio-drenaje (adaptada Heuperman *et al.* 2002).

La sustentabilidad de esta opción de manejo en zonas de recarga de agua subterránea es aceptada ampliamente. Sin embargo, en zonas de descarga los árboles pueden concentrar sales en superficie, y pueden igualmente implantarse para control de la erosión, obtención de madera para combustible, ramoneo de ganado, finalidad estética, debiendo elegirse especies resistentes a diverso estrés (déficit-exceso hídrico, alta salinidad-alcalinidad) y que tengan menor transpiración, tales como: *Acacia Farnesiana*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora* y *Tamarix sp*, que resisten muy alta salinidad (32,000mg/l). Asimismo, *Prosopis sp.*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Populus deltoide*, *Morus indica*, *Casuarina glauca*, *C. cunninghamiana*, entre otras, resisten condiciones extremas (Tomar, 2007).

Prinz y Chahbani (2006) analizan la implementación de la técnica del BD en el norte de África, en oasis de zonas de desierto (sur de Tunisia). Recomiendan las siguientes especies por alto consumo de agua, y ser resistentes al hidromorfismo: *Acacia salicina*, *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus occidentalis*, *Eucalyptus microtheca*, *Eucalyptus torquata*, *Morus alba*, *Populus alba*, y *Schinus molle*. Destacan que el BD ha probado ser una técnica exitosa para profundizar la superficie freática si es que su salinidad es menor a 5,000mg/l y su profundidad es al menos 1m desde la superficie.

Tomar (2007), indica la importancia de evaluar el suelo más allá de 1.5m, ya que por ejemplo, la presencia de un horizonte con CaCO_3 limita la profundidad de desarrollo radicular, a lo cual debe adaptarse el método de plantación. Asimismo, es importante considerar la mejora que la implantación de especies resistentes produce sobre dicha propiedad restrictiva, tal como el Na (PSI, porcentaje de Na intercambiable). Así, estos autores encuentran máximas reducciones de pH y PSI, e incrementos en materia orgánica, con *Tamarix articulata*, seguido de *Prosopis juliflora* y *Acacia nilotica*. Respecto al control de la freática, este autor señala las experiencias con *Eucalyptus sp* en Australia, en las cuales encuentran que mantienen en promedio sólo 0.05m más profunda de la superficie freática respecto al suelo desnudo, destacando que si bien esto puede conducir a sales entre árboles, las observaciones realizadas por 8 años mostraron que la sal proveniente de la superficie freática se concentró a 0.6-1.2m, aunque disminuyó la salinidad en los primeros 0.6m bajo los árboles. Por último, se indica que el efecto de las plantaciones sobre el entorno no plantado se extiende en forma variable, indicando experiencias donde sólo afectan 40m en el entorno de la plantación, mientras que en otras se indican hasta 500m.

Al respecto, Heuperman *et al.* (2002) indican que si bien a menudo sólo ha sido necesario plantar una pequeña porción del relieve a fin de lograr la disminución de la salinización por descarga en zonas bajas, el control de la salinización presenta aún muchos interrogantes que deben ser estudiados en cada caso, identificando el sitio, relieve, condiciones de suelo, agua y vegetación a fin de garantizar la perdurabilidad de las acciones.

Sobre la **magnitud y tiempo de cambio de la superficie freática** como consecuencia de la implementación de especies arbóreas (BD), se presentan en el Anexo A-7.4, lo indicado por diferentes autores (Stirzaker *et al.*, 1999 en Heuperman *et al.*, 2002; Vertessy *et al.*, 2001; Whitehead y Beadle, 2004; Khamzina *et al.*, 2005; Sharma, 2007, y Sondhi, 2007).

En estos trabajos se aprecia que la intensidad y tiempo en que se producen los cambios en la superficie freática dependerán de diversos factores del sitio, y principalmente de la especie vegetal y manejo, indicándose la necesidad de conocer el funcionamiento del ambiente, principalmente del agua subterránea, calidad de agua, suelo, y clima.

Para este punto, se destaca lo indicado por Tomar (2007), respecto a que si bien debe tenerse precaución previo a la implantación de árboles, el uso de esta técnica de BD tiene como ventaja el menor costo y carecer de problemas ambientales que producen los sistemas de drenes o canales.

2.3.2. Cubierta vegetal, recomendaciones y experiencias para el área de estudio, y otras regiones semi-áridas-subhúmedas de Argentina

Los trabajos no describen manejo de la vegetación y suelo considerando zonas de recarga o descarga de agua subterránea. El manejo propuesto en la región, se vincula a controlar efectos, tal como medir los cambios en la profundidad de la superficie freática, degradaciones edáficas, pero sin establecer el origen de lo que se pretende modificar. Así, se plantean dos grupos de recomendaciones sobre manejo de suelo y vegetación a fin de incidir en el ciclo hidrológico:

2.3.2.1. Manejo de la cobertura vegetal herbácea (pastizal natural, pastura)

Estas prácticas procuran revertir efectos directos sobre el suelo por inundación y sequía, mediante el manejo de cobertura vegetal herbácea, natural o implantada, al restringir el ascenso de agua freática y salinización asociada.

MAA-INTA (1986) y MAA (1987) proponen pautas de manejo a fin de recuperar un suelo degradado por salinización y alcalinización en el noroeste bonaerense, estableciendo el origen de esta degradación, y su evolución en función del manejo realizado. Estos trabajos describen el proceso de salinización por ascenso capilar de agua salina desde la superficie freática cuando ésta se encuentra por encima de 1m de profundidad, debido a textura franca y franca arenosa del suelo. El contenido de sal de esta agua freática es variable, entre 10 y 12 dS/m de conductividad eléctrica, y pH próximo a 8, siendo este contenido salino determinante de la salinidad de todo el perfil edáfico, concentrándose en superficie tanto más cuanto más seco es el tiempo y más cercana se encuentre la superficie freática. En verano la salinidad en superficie adquiere 4-6 veces la salinidad de la superficie freática. El proceso de salinización, puede verse agravado en los sitios donde aparece una capa densificada a menos de 0.45m, en forma de lentes discontinuos, con dureza irreversible provocada por la concentración de cementantes entre los cuales se tienen FeO_2 y Mn, CaCO_3 , y posible SiO_2 .

Por el contrario, en este informe se indica, que si la superficie freática se mantiene profunda, más de 1m, durante varios años, la lluvia normal reduce considerablemente el contenido salino, aún en horizontes subsuperficiales. Se describe entonces a la *salinización como un proceso reversible*, en periodos húmedos la lluvia lixivia la sal hacia horizontes profundos.

Sin embargo, este proceso sólo se puede presentar si el periodo húmedo permite la entrada suficiente de agua de lluvia, lo cual tendría que producirse en un tiempo de varios años donde el movimiento ascendente del agua fuera mínimo, situación que no es factible ya que si se tiene la superficie freática a pocos metros del suelo esto es indicador de zona de descarga, condición que difícilmente variará con el tiempo. Por lo tanto la dirección de flujo del agua subterránea es ascendente por lo que la lixiviación referida se presentará sólo en casos donde exista una superficie freática profunda.

Se indica además, que los sitios afectados por la inundación, luego de retiradas las aguas se va colonizando con diferentes especies vegetales en función de las características físico-químicas del suelo. La primer especie natural que coloniza el suelo salinizado es la *Salicornia sp* "jume", luego aparece *Distichlis sp* "pelo de chancho", y cuando se intensifica el lavado de sal, aparece *Kochia scoparia* "morenita", y *Cynodon dactylon* "gramilla". Las especies que prevalecen así como su evolución, se relacionan con variaciones en la alcalinidad y salinidad del suelo. Es evidente, que las variaciones que estas publicaciones mencionan son en los primeros centímetros del suelo, y son los que posibilitan la colonización inicial, sin embargo, al no considerar el origen de estas sales, se desconoce la perdurabilidad de estos cambios y la naturaleza de posibles evoluciones, principalmente.

MAA-INTA (1986), y MAA (1987) dan los valores límite siguientes para el desarrollo vegetal: 8dS/m, menor desarrollo y variación en la composición florística; 12dS/m, se inhibe el desarrollo y aparecen manchas sin vegetación; y con 20dS/m generalmente aparece una costra salina. Las manchas de humato sódico (materia orgánica dispersa en superficie por acción del Na) se dan a un pH 10 por alto contenido de Na.

Respecto a la vegetación que prevalece en el área de estudio en forma natural y en función del relieve, Gabellone *et al.* (2003) indica que en *relieves positivos* prevalece la *pradera mesófito* (*Stipa trichotoma*, *Briza subaristata*, *Stipa neesiana* y *Botriochloa laguroide*); en *partes bajas*,

con problema de avenamiento sin sodicidad, pradera de hidrófitas. En general, en cubetas circulares con decenas de centímetros de agua todo el año (*Ludwigia peploides*, *Solanum malacoxylon*, *Glyceria multiflora*, *Polygonum punctatum*, *Echinochloa helodes*), y en suelo con alta salinidad y sodicidad desde superficie o muy cerca de la superficie, prevalece la estepa de halófitas con dominancia de *Distichlis sp*; y en el extremo más salino-sódico, dominan especies de los géneros *Spartina* y *Salicornia*.

Krüger (1992) indica las principales especies vegetales nativas o naturalizadas en la región de estudio se asocian a diferente nivel de salinidad (Tabla 2.7).

Estos aspectos sobre la vegetación natural y su evolución, han sido indicados con mayor detalle en punto 2.1.4.

MAA-INTA (1986) y MAA (1987) indican que luego de la inundación de la década del 1980's, se observó en la región diferente evolución natural e inducida por el manejo del suelo. Así, se dio la siguiente secuencia: agua en superficie – salinización del suelo – aparición de vegetación espontánea – recuperación superficial – vegetación con aptitud forrajera – uso ganadero atenuado. En todos los casos, la aparición de especies vegetales adaptadas a la salinidad, aparecieron y progresaron ligadas a la clausura del lote, y a oportunas precipitaciones.

En algunos casos, se menciona recuperación mediante *labranza vertical*, *inter-siembra* (ver Anexo A-7.5), introducción de especies de forraje de mayor calidad. Contrariamente, manejo inadecuado de sitios salinizados, condujo a daño irreparable, transformando el sitio en *peladal* (sin vegetación) inutilizable por años.

MAA (1987) describe prácticas de recuperación en función del nivel de salinidad y alcalinidad alcanzado en el suelo del noroeste bonaerense. Indican tres situaciones principales:

1. *pH inferior a 8 y salinidad menor a 7dS/m*, se puede acelerar el proceso de recuperación mediante labranza vertical del suelo con cincel o subsolado en primavera, clausurar el lote durante el verano, y en el otoño siguiente sembrar previo labor, especies tolerantes tales como *Thinopyron ponticum* "agropiro alargado", *Melilotus officinalis* y *M. alba* "tréboles de olor", *Medicago sativa* "alfalfa cv salinera", *Sorghum technicum* "sorgo de escoba o maíz de guinea", entre otras.
2. *pH entre 8-8.5, y CE entre 7-10dS/m*, efectuar labor de inter-siembra o igual que en el caso anterior pero con cobertura de rastrojo.
3. *pH mayor a 8.5 y CE entre 10 y 14dS/m*, la situación es límite y la recuperación natural es muy baja, la única alternativa viable es realizar inter-siembra con cobertura de rastrojo.

En todos los casos se recomienda evitar la escorrentía hídrica de sectores más altos mediante terrazas, curvas de nivel, zanjas de avenamiento; demorar el inicio de pastoreo hasta la primavera siguiente a la siembra; y manejar racionalmente la pradera.

Respecto al proceso de salinización del suelo que conduce a los valores indicados, Casas (2003) describe tres fases que se suceden luego de disminuir la lluvia, en sectores planos y deprimidos debido a que se secan por infiltración y evaporación:

1. ascenso de la solución salina por capilaridad, la evapotranspiración se incrementa con el aumento de la temperatura y viento de primavera.
2. concentración salina en el horizonte superficial en función de los factores mencionados anteriormente.
3. formación de costra salina en superficie, visible en época calurosa, ventosa y seca. Estas eflorescencias y costras salinas, expresan el grado más intenso de salinización, y en este tipo de suelo se supera los 20dS/m de K.

Asimismo, Casas (2003) presenta estrategias de recuperación de suelo afectado por inundaciones para el noroeste bonaerense. Este autor afirma que el período húmedo que afecta la región desde 1972, provocó anegamiento que llega a constituirse en lagunas temporarias. Esto condujo a una elevación de la superficie freática, que lleva sales disueltas existentes desde profundidad. Esto impacta negativamente en el suelo, y perdurará por un tiempo variable en función del grado de afectación.

Estos autores indican además, la necesidad de complementar el *manejo agronómico de suelo y cultivo* con obras de infraestructura (mejoras de caminos y vías férreas, protección de ciudades) e hidráulicas (construcción de canales primarios y secundarios, obras de almacenamiento y regulación de excedentes en lagunas, tal como las previstas por el PMI (1999).

En Anexo A-7.5, se explica el significado de términos, prácticas de manejo, y se presenta en forma detallada las recomendaciones de manejo para el noroeste bonaerense dadas por Zamolinsky (2001) y Casas (2003), así como sus experiencias. Este último autor, en función de las características del sitio y grado de deterioro indica que las prácticas pueden agruparse según sean: 1) zonas con problemas de avenamiento y actividad ganadera, y 2) zonas agrícolas (Anexo A-7.5).

Especies forrajeras recomendadas, y resistencia de los cultivos a la salinidad

Zanoniani (2002) indica que la elección de especies se basa en tipo de suelo, topografía, objetivo y manejo a realizar. Este autor recomienda para zonas con frecuente inundación, seleccionar especies que resistan períodos de humedad más o menos prolongados en distintas estaciones del año, o por lo menos sacar ventajas de ellos. Si bien son muchas las especies posibles de sembrar dentro de las mejores se encuentran: *Lotus tenuis*, *Lotus pedunculatus*, *Trifolium album*, y *T. repens*.

En Tabla 2.13, se presentan las principales especies forrajeras recomendadas para implantar en la región, así como las características principales de suelo, época de siembra, densidad de siembra y época de aprovechamiento, elaborada a partir de diversas fuentes (Kruse, 1992, Zanoniani, 2002), y se indican algunas características adicionales a las presentadas en la Tabla 2.13, vinculadas con su aptitud para mejorar el suelo, potencialidades y restricciones para su uso en los sistemas productivos para la región pampeana en general, con especial referencia al noroeste bonaerense, en Anexo A-7.5.

Zanoniani (2002) destaca la importancia de definir el tipo de flujo subterráneo que funciona en el sitio, ya que si este correspondiera a flujo regional, un bajo será demasiado salino y alcalino como para que las especies que recomienda, *Trifolium repens* y *Lotus sp* principalmente, prosperen. Por el contrario, si los bajos se corresponden con flujo local es posible que este esquema de manejo sea adecuado.

En la tabla 2.14, se presenta la tolerancia de diversa vegetación a diferentes condiciones de salinidad y pH elaborada a partir de diferentes fuentes (Richards, 1973; FAO, 1976; Pizarro, 1978; FAO, 1979; Porta *et al.*1994). En esta tabla, (1) es el % de disminución de rendimiento (R) por cada unidad de incremento de CE por sobre el valor máximo en el cual no habría disminución en dicho rendimiento. CEs, es la conductividad eléctrica medida en el extracto de suelo a saturación con conductímetro (dS/m). CEw, conductividad eléctrica medida en agua. pH, medido potenciométricamente en pasta. PSI, por ciento de sodio intercambiable.

En relación con las prácticas de recuperación de suelo degradado, se destaca lo indicado por Zamolinski (2001), quien reporta que la experiencia local en este tipo de emprendimiento es escasa y no siempre exitosa, pero permite asegurar que no existe una única fórmula aplicable a todos los casos, sino que la estrategia de intervención deberá establecerse en cada situación

particular. Por lo expuesto, se aprecia que lo que los autores indican es en forma empírica y por observación, ya que aun en sitios con condiciones de apariencia semejante es diferente su respuesta ante un manejo determinado, por lo cual la necesidad de definir el funcionamiento del agua subterránea queda claramente implícita.

Tabla 2.13 Especies herbáceas aptas para sembrar en la región de estudio. Características de suelo, siembra y aprovechamiento (O, otoño – I, invierno – V, verano – P, primavera)

especie	suelos	época y densidad de siembra kg/ha	época aprov.
Medicago sativa alfalfa	Franco, profundos y bien drenados, neutros y ligeramente alcalinos.	fin de V-O Pura: 8 a 15 Mezcla: 4 a 8	Fin de I, P, V, O
Lotus corniculatus lotus	No es exigente en suelos y crece en los arenosos como los arcillosos pesados y ligeramente alcalinos.	fin de V-O Pura: 6 a 8 Mezcla: 2 a 3	P, V, O
Lotus Tenuis lotus	No es exigente, crece en suelos anegados y arcillosos	fin de V-O Pura: 6 a 8 Mezcla: 2 a 3	P, V, O
Trifolium repens Trébol blanco	Crece en suelos fértiles, franco arcilloso, húmedos, bien provistos de fósforo.	fin de V-O Pura: 3 a 5 Mezcla: 0.5 a 3	I, O, P
Trifolium resupinatum trébol persa	Tolera suelos pesados y húmedos. Los sueltos y secos no favorecen su desarrollo. Resiste al frío.	fin de V-O Pura: 10 a 12 Mezcla: 3 a 6	I,P
Trifolium pratense Trébol rojo	Zonas húmedas, templadas o frías, no tolera clima cálido. Prospera en suelos poco profundos donde no crece la alfalfa.	fin de V-O Pura: 8 a 10 Mezcla: 2 a 6	O,P
Melilotus officinalis trébol de olor amarillo	Alcalinos y salinos.	fin de V-O Pura: 8 a 10	P,V
Melilotus alba trébol de olor blanco	Arenosos, neutros y alcalinos, tolera muy bien la sequía de verano.	fin de V-O Pura: 10 a 15 Mezcla: 3 a 6	P, V
Vicia sativa vicia	Buena calidad.	fin de V-O Pura: 35 a 45 Mezcla: 25 a 35	I, ppio P
Thinopyron ponticum agropiro	Se adapta a distintos tipos, semiáridos, de costa marítima, húmedos, salitrosos temporalmente inundables.	fin de V-O Pura: 8 a 15 Mezcla: 3 a 6	O, P
Agropyron scabrifolium agropiro criollo	Franco, franco-arcillosos y franco-arenosos.	fin de V-O Pura: 5 a 8 Mezcla: 3 a 4	O,I
Bromus uniloides cebadilla	De buena fertilidad.	fin de V-O Pura: 8 a 15 Mezcla: 4 a 8	I, P
Phalaris aquatica falaris bulbosa	Fértiles, franco arcillosos, aunque también en buenos y profundos.	fin de V-O Pura: 7 a 10 Mezcla: 3 a 5	O, I, P
Festuca arundinacea festuca alta	Se adapta a gran variedad de suelos, livianos, franco-arenosos o compactos y húmedos. Los tolera ligeramente alcalinos o salinos.	fin de V-O Pura: 8 a 15 Mezcla: 3 a 6	P
Chloris gayana grama de rhodes	Franco y franco-arenosos.	P Pura: 4	O,P
Eragrostis curvula pasto llorón	Livianos arenosos y franco-arenosos.	P Pura: 4 a 6 Mezcla: 1 a 2	P, V, O
Dactylis glomerata pasto ovillo	Fértiles, aunque también prospera en mediana fertilidad, tolera acidez y la sombra. Franco-arenosos.	fin de V-O Pura: 15 a 20 Mezcla: 3 a 5	P, V, O.
Phalaris Minor pasto romano	Necesita buen suelo. Exigente en fertilidad.	fin de V-O Pura: 15 a 25 Mezcla: 10 a 15	I, ppio P.
Lolium multiflorum rye grass anual	Suelos fértiles.	fin de V-O Pura: 15 a 20 Mezcla: 2 a 4	P
Lolium multiflorum rye grass anual	Exigente en suelos y drenaje.	fin de V-O Pura: 16 a 18 Mezcla: 4 a 6	P
Lolium perenne rye grass perenne	Franco-limosos con alto porcentaje de materia orgánica, de neutros o ligeramente ácidos.	fin de V-O Pura: 15 a 20 Mezcla: 2 a 5	P, I

Tabla 2.14 Tolerancia de diversa vegetación a diferentes condiciones de salinidad y pH (Richards, 1973; FAO, 1976; Pizarro, 1978; FAO, 1979; Porta *et al.*1994)

	pH (otra fuente)	CE _s 50% dism.R	CE _s Nivel máx. no afecta R	CE _s 10-25-50% dism. R	CE _s Nivel máx. no afecta R. (1)	CE _s 50% dism.R	CE _w máx. no afecta R	CE _w 10-25-50% dism. R.	PSI tolerancia máxim/ 50% dism. R
referencia		Richard (1954)	Dominguez (1988)/ FAO(1979)	Pizarro (1978)/ FAO(1979)	Porta (1994)	Porta (1994)	FAO, (1976)	FAO, (1976)	
<i>Thinopyron ponticum</i> agropiro			6-12 7.5	11-15-18 9.9-13.3-19.4	7.5 (4.2%)	19.4			> 60
Medicago sativa alfalfa	6-7.8	4-12	3-6 2.0	3-5-8 3.4-5.4-8.8	2 (7.3)	8.8	1.3	2.2-3.6-5.9	> 40 > 25
Avena sativa grano	5.5-7 (4-7.5)	6-10	4-8						
Avena heno	5.2-7	4-12	3-6						20-40
Hordeum vulgare Cebada grano		10-16	8-12 8	12-16-18 10-13-18	8 (5%)	13	5.3	6.7-8.7-12	40-60 > 25
Cebada heno	5.6-7.9	12-18	6-12 6.0	8-11-13 7.4-9.5-13.0	6 (7%)	13	4.0	4.9-6.3-8.7	> 40
Secale cereale Centeno	5.5-6.5 (4.0-7.7)		5.6	6.9-8.9-12.2			3.7	4.6-5.9-8.1	
Cynodon dactylon			6.9	8.5-10.8-14.7			4.6	5.7-7.2-9.8	
Dactylis glomerata Pasto ovillo			1.5	3.1-5.5-9.6			1.0	2.1-3.7-6.4	
Festuca		4-12	6-12	7-10.5-14					20-40
Festuca arundinacea			6-12 3.9	5.8-8.6-13.3	3.9 (5.3%)	13.3			
Helianthus anua Girasol		6-10	4-8						
Lolium perenne			3-6 5.6	8-10-13 6.9-8.9-12.2					
Zea mays Maiz	5.2-7 (5-8)	6-10	4-8 1.7	5-6-7 2.5-3.8-5.9	Dulce 1.7 (12%) Forrajero 1.8 (7.4)	5.9 8.6	1.1	1.7-2.5-3.9	50% dism. R <15
Melilotus albus			3-6						
Melilotus officinalis			3-6						
Phalaris tuberosa			3-6 4.6	8-10-13 5.9-7.9-11.1	4.6	11.1			
Glycine max Soya	6-7 (4.5-7.5)		4-8 5.0	5.5-7-9 5.5-6.2-7.5	5 (20%)	7.5	3.3	3.7-4.2-5.0	
Sorghum sp. Sorgo grano	5.5-7 (5-8.5)	6-10	4-8 4.0	6-9-12 5.1-7.2-11.0	4.8	11	2.7	3.4-4.8-7.2	
Trifolium sp trébol blanco	6-7 (5.2-7.5)	4-12	2-3 1.5	2.3-3.6-5.7					20-40
Triticum aestivum trigo	5.2-7	4-12	3-6 6	7.4-9.5-13.0	6 (7%)	13	4.0	4.9-6.4-8.7	40-60

Tolerancia de los cultivos a salinidad y alcalinidad

Hasta aquí se ha hecho mención sobre las especies vegetales recomendadas para la región, sin embargo, los resultados luego de su implantación son muy variables por diferente causa, la más importante, es el desconocer el origen de una determinada restricción, en este caso la salinidad. Así, en general se restringe la elección de la especie con base en el valor de sales en suelo, sin considerar si la superficie freática es ascendente (zona de descarga) por lo que en consecuencia esta condición no sólo afectará la salinidad del suelo sino también habrá un efecto directo del agua sobre las raíces del cultivo. Entonces, si bien es importante definir el grado de tolerancia de un cultivo, resulta también importante conocer como será afectado el rendimiento de producirse una variación en el valor de salinidad. Sin embargo, la bibliografía no

da un valor único, esto tiene su origen en el procedimiento que se usan para definir dichos márgenes de tolerancia y respuesta, en general cuando son controladas en invernáculo.

A continuación (Tabla 2.15) se presenta otro criterio para establecer efectos sobre el rendimiento de los principales cultivos de la región de estudio. Este criterio, fue elaborado por Aceves, 1979 (en Porta *et al.*, 1994).

Tabla 2.15 Cálculo del rendimiento relativo esperado para cultivos (Aceves, 1979 en Porta *et al.*, 1994)

	Rendimiento Relativo	Intervalo
Cebada	40 - 5.0 * CEs	8.0 < CEs < 28
Maíz	125 - 2.5 * CEs	2.0 < CEs < 10
Trigo	142.6 - 7.13 * CEs	6.0 < CEs < 20
Tréboles	115.3 - 11.5 * CEs	1.3 < CEs < 9.8
Alfalfa	114.5 - 7.2 * CEs	2.0 < CEs < 15.7
Soya	200 - 20 * CEs	5.0 < CEs < 10

Intervalo, CEs (conductividad eléctrica del suelo) en que puede ser aplicada dicha fórmula, por ejemplo, si la CEs medida es de 8, el rendimiento relativo del maíz será de $125 - 12.5 * 8 = 25$.

2.3.2.2. Plantación forestal y cultivos que toman directamente agua subterránea

Estas prácticas aún no han sido difundidas en la región; sin embargo, promueven el consumo de agua freática mediante plantaciones forestales y de cultivo capaz de tomar directamente el agua subterránea.

Plantaciones forestales

Potencialidades ambiental, productiva, económica, y social

Ha habido una tradición de *manejo agropecuario*, sin forestación, realizándose en general una plantación forestal sólo para protección de construcciones, o del ganado. Son motivos naturales, económicos y culturales los que han conducido a este manejo desde el inicio de la actividad humana en forma permanente. La región se caracteriza por vegetación natural de pradera, sin árboles, aspectos que se describen en detalle en punto 2.1.4. Respecto *factores económicos y culturales*, la composición de la inmigración en la Argentina así como, las características naturales y necesidades del país, definieron un origen rural, agrícola-ganadero, de las actividades productivas del país, y un modelo de país agro-exportador.

En el Anexo A-7.6, se analiza el **Origen del esquema productivo agropecuario argentino** como base para comprender las posibilidades de adopción de otras prácticas productivas, tales como la forestación y el silvopastoreo.

Potencialidad de la forestación en los esquemas actuales

Son cada vez más los motivos que se aducen para que esta situación de producción agropecuaria actual se revierta, incluyendo otras alternativas que podrían conducir a cambios socioeconómicos importantes. Así, es cada vez más conocida la pertinencia y ventajas de índole social, económico y ambiental que tiene el ampliar y diversificar la producción, y son también apreciadas y valoradas otras funciones de los esquemas productivos en el ambiente tales como los que surgen de preservar el bosque o incorporarlo donde incluso no existía.

Los sistemas productivos actuales se agotan o son insustentables bajo esquemas tradicionales, y si bien cuando se menciona esto, con frecuencia se hace mención a la modernización de las técnicas productivas que eviten la degradación, contaminación, tal como se indicó en punto 2.1.3.4. Esto no es suficiente, es necesario comprender el ambiente, con un cambio sustancial

en la manera de estudiarlo, y consecuentemente, intervenir en el paisaje, esto es, que los esquemas de producción analicen su viabilidad técnica, social y económica dentro de un ambiente mayor interrelacionado en lo visible y en lo no visible.

Surge entonces desde diferentes ámbitos, otras propuestas, que procuran revertir la situación “*de tradición productiva*” por otra donde además, se contemple no sólo el hábito, sino también la utilidad de integrar las actividades en un ambiente, el cual necesariamente hay que conocer.

El antecedente más destacable para la región, son las propuestas formuladas por Galetti y Esparrach del INTA Balcarce, Argentina, en diversas publicaciones (Esparrach 2000; Galetti, 2003a, 2003b; Galetti y Esparrach, 2003) para la región bonaerense con el problema de sequía e inundación periódica, con miras a contribuir efectivamente al control de inundaciones, revalorizando económica y ambientalmente el sitio. Por la pertinencia con el presente proyecto, se detallan a continuación algunas de las propuestas, así como la de otros autores para la región y de otras con características comparables.

Galetti (2003a) señala como actividad promisoría para la región afectada por sequía e inundación cíclica, a la actividad **silvopastoril**. Estos sistemas, son alternativas de producción que integran pastura, ganado y árbol en un mismo sitio, aumentando la producción total por unidad de superficie y minimizando el impacto ambiental, cumpliendo con su finalidad, cuando ninguno de sus componentes (árbol-pastura-ganado) es afectado. Este autor cita autores que muestran el beneficio que el árbol posee sobre el crecimiento de la pastura por sombreado. Recomienda para la región la implantación de macizo forestal con baja densidad de especies preferentemente de hoja caduca (*álamo, Populus sp.; acacia blanca, Robinia pseudo-acacia; fresno, Fraxinus sp.; olmo, Ulmus sp.*) que con adecuada poda (manejo silvícola) se convierte en madera de calidad en el mediano a largo plazo (15-30 años). Se destaca que las *salicáceas* (*álamos, Populus sp.; y sauces, Salix sp.*) tienden a sufrir daño en la corteza por acción de caballos y novillos, situación que no sucede con *eucaliptos (Eucalyptus sp.), pinos (Pinus sp), acacia blanca (Robinia pseudo-acacia)*.

Asimismo, este autor, da recomendaciones sobre el tipo, edad, estado sanitario del ganado, para que puedan ingresar a los planteles de árboles, cosechándose el forraje en forma mecánica, y procurando mantener la pastura. Señala por último que este manejo integrado permite usar tierra de mejor calidad que la que normalmente se utiliza para forestación, mejorando sus resultados, así como los de la actividad pecuaria bovina de cría y recría por la incorporación de protecciones forestales a través de macizos abiertos compatibles con la producción de forraje, capitalizando en el largo plazo al sector ganadero con un patrimonio forestal. En este caso, el autor no menciona cual podría ser el efecto de este manejo sobre el agua subterránea, hecho que sí lo plantea en Galetti (2003b). Así, recomienda la forestación como práctica de control de aguas subterránea y superficial, indicando posibles sitios estratégicos en que las mismas podrían ser ubicadas en zonas afectadas por inundación en la provincia de Buenos Aires, a fin de interceptar agua de escorrentía y agua del subsuelo, tal como menciona se ha logrado conseguir con éxito en Uruguay, India, Nigeria, principalmente con plantación de eucalipto (Galetti, 2003b). Destaca los resultados en Nigeria donde se indica merma en la escorrentía superficial, en algunos casos superior al 20% en zona forestada con *Eucalyptus globulus*, comparado con *pino (Pinus sp)* y con pastizal natural; en India, se efectuó el reemplazo de estaciones de extracción de agua por plantaciones de eucalipto.

En el Anexo A-7.7, se amplían los antecedentes vinculados a la potencialidad de la **forestación en el noroeste bonaerense**, indicándose las especies forestales recomendadas, exóticas y nativas, sus efectos ambientales y económicos, así como recomendaciones de manejo. Asimismo, se amplía sobre la práctica del **silvopastoreo**, especies arbóreas y vegetales posibles, productividad, manejo, ventajas y desventajas.

A continuación se presenta la lista de especies exóticas y nativas indicadas, y descrita en detalle en el Anexo A-7.7 como aptas para el área de estudio:

- **Árboles Exóticos:** *Casuarina cunninghamiana* (casuarina), *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus rudis*, *Eucalyptus umbellata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus camldulensis*; *Fraxinus sp.* (fresno), *Ulmus sp.* (olmo); *Pinus halepensis*, *Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Pinus taeda* y *Pinus ponderosa*; *Salix nigra* 4, *Salix matsudana x Salix alba-clon 1,344*, *Sauce americano 131-25*, *131-2*, *131-27*.
- **Especies Nativas:** *Acacia melanoxylon* (aromo), *Acacia Visco* (acacia), *Robinia pseudo-acacia* (acacia blanca), *Prosopis alba* (algarrobo blanco), *Prosopis caldenia* (caldén), *Prosopis Chilensis* (algarrobo blanco), *Prosopis flexuosa* (algarrobo negro-dulce), *Cercidium praecox* (brea).

Restricciones ambientales de la forestación

En relación con el efecto de plantaciones forestales en ecosistemas pampeanos, se destaca el trabajo de Jobbágy *et al.* (2006). Estos autores analizan específicamente el efecto de las plantaciones de eucalipto y pino, y las comparan con plantaciones de especies caducas, tal como álamos y acacias, en relación con su efecto sobre el rendimiento en el ciclo hidrológico en la calidad del agua de arroyos próximos a dichas plantaciones, y sobre el suelo, a partir de información generada en la región pampeana y en el mundo. Indican diversas consecuencias negativas en el ambiente con plantaciones de especies de eucalipto y pino, principalmente eucalipto, por acidificación, pérdida de Ca, y salinización del suelo, asociado al alto consumo de agua que implica caída en el rendimiento absoluto del rendimiento hidrológico del 50 y 30% para el eucalipto y pino respectivamente, si bien en algunos sitios indica sólo indica variaciones del 15% en el rendimiento hidrológico.

En relación con la *salinización*, estos autores describen varios sitios donde se produce salinización como consecuencia de la implementación de especies arbóreas, además de disminuir la recarga. Comparan pares de pastizal natural y forestaciones distantes a 100-200m entre sí, y encuentran incrementos en la salinidad del agua freática de 3 a 30 veces para las plantaciones forestales, elevando en casi todos los casos la conductividad eléctrica del agua por encima del valor considerado seguro para el consumo humano. Sus estudios, y otros citados por estos autores, los han utilizado para describir las causas de este proceso de salinización: "... *Las forestaciones absorben agua freática (descarga hidrológica) y deprimen la superficie freática localmente. Las zonas adyacentes de pastizal reabastecen a la forestación con el agua que ellas recargan y al hacerlo envían sales que, a diferencia del agua que es evaporada, permanecen y se acumulan en el lugar. Como resultado de este proceso no sólo la calidad del agua se deteriora, además los suelos se salinizan y en la mayoría de los casos se vuelven alcalinos y sódicos por debajo de los primeros 50cm...*" (Jobbágy y Jackson 2004a en Jobbágy *et al.*, 2006).

Si bien estos autores, indican que procesos similares han sido documentados para plantaciones forestales en Australia (Heuperman, 1999), Rusia (Sapanov 2000) y Hungría (Nosetto *et al.*, 2006), autores todos citados en Jobbágy *et al.* (2006), las comparaciones no son necesariamente válidas, ya que no se especifica con precisión lo que se compara, tipo de suelo, posición de la superficie freática, si es zona de recarga o descarga, o el clima, entre otros factores. Por otra parte, el proceso que describen no resulta factible que suceda así, ya que la dinámica conocida del movimiento del agua subterránea no se comporta de la manera descrita, el agua de recarga en los pastizales debe ser usualmente agua de excelente calidad (agua de lluvia). Lo que sería más posible es que el árbol abata la superficie freática e induce agua salada subyacente al agua de buena calidad recientemente infiltrada.

Tal como se indicó en el punto 2.3.1.4, autores como Heuperman *et al.* (2002, 2003) y Tomar (2007) señalan la necesidad de estudiar el fenómeno con detenimiento, e indican la necesidad de conocerse el funcionamiento de sistema a fin de establecer las circunstancias en las cuales efectivamente el movimiento del agua coadyuva en la salinización. Lo indicado por Jobbágy *et al.* (2006) no resulta totalmente claro al no definir exactamente que sitios del relieve analiza, y como esos sitios se comportan desde el punto de vista hidrogeológico. No obstante, estos autores, destacan la utilidad de los árboles en la Argentina, para al menos revertir parcialmente el ascenso de las superficies freáticas.

A fin de minimizar posibles efectos negativos de especies principalmente perennes, analizan la conveniencia de especies de hojas caducas, tal como el *Populus deltoides*, al permitir durante los meses de su receso otoñal que el pastizal natural progrese y conserve sus funciones. Encuentran que si bien una plantación de álamo y pastizal natural, provoca salinización de la superficie freática y del suelo profundo, la magnitud del proceso fue sustancialmente menor a la observada bajo eucalipto, y tampoco encuentra acidificación (Jobbágy y Jackson, 2004 en Jobbágy *et al.* 2006). Destacan entonces, la conveniencia de utilizar forestaciones con especies de árboles caducos, que permitan el desarrollo de un sotobosque herbáceo que, con manejo de resiembra y fertilización adecuado, podría mejorar sustancialmente la eficiencia de los sistemas ganaderos.

Se destaca además la necesidad de evitar el desarrollo de malezas y de fuego. Entre las malezas leñosas que se han diseminado en el pastizal de Buenos Aires, se destacan, *Rubus fruticosus* (zarzamora), *Ligustrum sp* (ligustro) y *Gleditsia triacanthos* (acacia negra). Estas compiten con árboles forestales, dificultan el acceso y trabajo en las plantaciones, y el aprovechamiento ganadero del sotobosque. En muchos casos la forestación se constituye en la vía de entrada para que estas especies exóticas avancen luego sobre los pastizales adyacentes. En general se trata de especies dispersadas por aves que llegan en gran número a las forestaciones, donde las aves anidan o pasan buena parte del tiempo y encuentran allí un ambiente apropiado para crecer y reproducirse. El problema requiere un manejo atento del sotobosque y puede basarse en el pastoreo como herramienta de control (Clavijo *et al.*, 2005 en Jobbágy *et al.*, 2006).

Nosetto *et al.* (2007) igualmente, advierten sobre la necesidad de estudiar con mayor detalle la redistribución de sales bajo una plantación forestal. Tal como se indicó al describir la técnica del bio-drenaje (punto 2.3.1.4.) son muchos los interrogantes al respecto, muchos de ellos se asocian a desconocer el funcionamiento del sistema, o como indicó Pla Sentis (2005) por la utilización de metodologías inadecuadas para la evaluación y monitoreo de procesos que fueron analizados en el punto 2.1.3.4.

Cultivos que toman agua de la superficie freática

Lo asequible del agua es el factor ambiental más limitante de la productividad de los cultivos en amplios sectores de Argentina, y en especial en el noroeste bonaerense en años de lluvia normal o secos, por lo cual el aporte de humedad de la superficie freática, adquiere gran relevancia por su potencial contribución en el incremento del crecimiento y rendimiento del cultivo (soya, trigo, maíz) y pastura, como complemento de la precipitación.

Baigorri *et al.*, (2003) indican que en la localidad de Jovita (Provincia de Córdoba), aún después de más de dos meses sin lluvia, se logró rendimiento de ***Glycine max* (soya)** de 4,000kg/ha, inéditos para la zona, o maíz de segunda que se aproximaba a los 10,000kg/ha. En Marcos Juárez (Córdoba), se recomienda rotación agrícolas de 4-5 años; sin embargo, luego de 8 años, el trigo rindió 4,500kg/ha luego de una soya de 3,800kg/ha, y la soya de segunda que se implantó a continuación 2,800kg/ha. El sitio se caracteriza por presentar lomas arenosas (antiguos médanos en relieve fuertemente ondulado), el rendimiento de soya siguió un patrón

muy similar a las curvas de nivel del potrero, así en las lomas más altas el rendimiento no llegó a los 1,200kg/ha y en bajos adyacentes (menos de 50m de distancia) superó los 5,000kg/ha. La explicación del mayor rendimiento en los bajos se debe a la presencia de la superficie freática cercana, ya que la historia agrícola y de manejo fueron iguales. En las lomas, donde la distancia a la superficie freática era mucho mayor, las raíces no llegaron al frente de humedad y sufrieron un déficit de agua importante durante la etapa vegetativa que no pudo revertirse con la lluvia ocurrida en el mes de enero. Estos resultados evidencian la influencia de la superficie freática en la producción, ya que con un manejo adecuado se logra rendimiento comparable con la zona núcleo productiva argentina con régimen climático húmedo.

Martini y Baigorri (2004) indican que si bien el cultivo de soya con superficie freática de alto contenido salino y suelo salinizado, no logra emerger o tiene un reducido crecimiento, en situación óptima, con suelo franco arenoso, y superficie freática a 2m de profundidad, alcanza rendimiento muy alto, aún en campaña con reducida precipitación.

Se aprecia entonces la necesidad de conocer la forma en que una superficie freática afecta la producción agrícola y su posible variación, ya que su presencia cambia el esquema de producción, incluso el uso de la tierra haciéndola más agrícola, con cambio en la intensidad y tipo de cultivo en la rotación, en el manejo, y en la posibilidad de incorporar variedades de soya de grupos de madurez bajo (más exigente), así como sembrar **maíz** de alto potencial, tener un esquema intensivo de fertilización, entre otros (Baigorri *et al.*, 2003). La zona con mayor incidencia de este fenómeno es la comprendida entre el noroeste de la Provincia de Buenos Aires, sitio de la presente tesis (Martini y Baigorri, 2004).

En cada sitio, se debe establecer profundidad y potencial de la superficie freática, este último depende de su espesor y granulometría; calculándose que cada metro de espesor de superficie freática en un suelo de textura franca a arenosa, puede aportar una lámina de entre 270 a 340mm de agua, representando esta última aproximadamente el 60-70% del consumo de agua del cultivo. Asimismo, indican la necesidad de conocer el comportamiento de la superficie freática, ya que el frente de humedecimiento se genera en función de la textura y profundidad, teniendo la precaución de mantener la cobertura del suelo a fin de evitar salinización (Martini y Baigorri, 2004).

En Anexo A-7.8, se presentan otros antecedentes referidos al aprovechamiento de agua freática por cultivo de soya, en regiones semiáridas argentinas: Garnero y Quiroga (2003) en regiones semi-áridas de Córdoba; Sá Pereira *et al.* (2005) en Coronel Suárez, Buenos Aires; Martínez *et al.* (2006) en Mercedes, San Luís; Pergolini (2004) en Alvear, La Pampa.

Otro cultivo capaz de aprovechar la presencia de una superficie freática ubicada entre 0.80-1.20m por su raíz profunda es el ***Helianthus annuus (girasol)*** originario de regiones semi-áridas (México y USA) con alta resistencia y gran adaptabilidad a distinto clima y tipo de suelo. Asimismo, puede contribuir a recuperar suelo salinizado, si bien la sal comienza a ser peligrosa para el cultivo a partir de una conductividad de 3.5dS/m (Rivas, 2001). El ambiente ideal del girasol, a fin de evitar enfermedades, como podredumbre del capítulo y verticilosis, manteniendo una superficie foliar activa que posibilite alto rendimiento de grano y materia grasa, son condiciones de alta luminosidad, alta radiación y baja humedad del aire. Bajo estas condiciones, en forma experimental se alcanzan rendimientos de hasta 6,000kg/ha y contenido de materia grasa cercanos al 60%. En relación con el suelo, lo más importante para el girasol es que haya un amplio volumen para la exploración de la raíz, así se requiere que sea profundo, sin impedimentos físicos como tosca o alguna capa compactada. El bajo contenido de materia orgánica que varían generalmente entre 0.5 a 1.5% no es restrictivo para un buen desarrollo del cultivo, siendo adecuado que el nivel de fósforo asimilable sea superior a 15mg/l (medido por Bray Kurtz1).

Medicago sativa, (alfalfa) es otro cultivo de raíz profunda capaz de beneficiarse de una superficie freática ubicada a una profundidad entre 0.80 y 1.20m. Esta provee una asistencia hídrica adicional que contribuye al desarrollo del cultivo, una vez que la raíz toma contacto con la zona humedecida. Jobbágy *et al.* (2006b) indican que el aprovechamiento del agua freática, muy posiblemente permitió por décadas la producción de alfalfa en la Pampa Central argentina, y que recientemente, se han visto fuertemente evidenciada en la producción de granos durante las últimas campañas secas (2003-2006) a través de rendimientos excepcionales pero heterogéneos en el sur de Córdoba, noroeste de Buenos Aires y noreste de la Pampa. Esto es coincidente con lo indicado precedentemente relativo a estudios de Martini y Baigorri (2004).

Jobbágy *et al.* (2006b), destacan al igual que los últimos autores, que la potencialidad del aporte de la superficie freática a los cultivos depende de la profundidad de la superficie freática, alcance de la raíz, textura del suelo, y salinidad del agua. Asimismo, destacan que una gran parte de la región pampeana presenta condiciones óptimas para el consumo de agua freática (superficie freática somera, sedimentos limoso-arenoso fino, aguas subterránea de reciente recarga con baja salinidad). Así por ejemplo, dan ejemplos donde el aporte freático ha contribuido a generar un 25-45% del rendimiento de maíz y soya de la campaña 2005-2006.

Gupta (2007) destaca el alto consumo de agua de la alfalfa, indicando que puede consumirla directo de la superficie freática en gran cantidad, por lo cual, recomienda su inclusión en zonas sujetas a anegamiento, en sitios donde su crecimiento no se vea afectado por exceso de agua, ya que es sensible. Por último, destaca que es importante sembrar grandes extensiones con uno o dos cultivos capaces de consumir gran cantidad de agua a modo de disminuir la superficie freática próxima a ellas. Este autor indica la profundidad óptima de la superficie freática, en un suelo de textura franco arenosa y precipitación promedio anual de 700mm, de modo de que la misma, pueda ser usada por los siguientes cultivos: trigo a 0.5m, maíz a 1.0m y soya a 1.25m.

Sin embargo, lo anterior, es analizado por otros autores desde otra perspectiva. Spescha *et al.* (2004) indican que a la tendencia creciente en la cantidad de agua presente en el suelo de la región pampeana, se agrega como agravante, el reemplazo por razones económicas de gran parte de la superficie con soya, caracterizado por menor consumo de agua, menor exploración en el espesor de suelo que otros cultivos de mayor porte, y sistema radical más desarrollado, como el maíz o el girasol, generando por ello un balance anual hídrico mayor. Al respecto, se indica lo señalado por Casas (2003) quien destaca que la utilidad de una especie vegetal en el secado del suelo queda definida por el número de estomas por unidad de superficie de hoja, profundidad de la raíz, y capacidad de exploración, destacando la *alfalfa*, si bien también poseen un alto número de estomas el *maíz* y *girasol*, entre los cultivos. Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta cuando se seleccionan especies para una rotación, eligiendo aquellas especies más transpirantes para sectores susceptibles a exceso hídrico. Es pertinente así, destacar lo comentado precedentemente por Réborel *et al.* (2004), con respecto al menor consumo de agua de plantaciones de *Eucalyptus dunnii* respecto al doble cultivo *trigo/soya*.

Profundidad crítica de la superficie freática y profundidad efectiva

FAO (1976) indica que el aporte de agua subterránea a un cultivo dado, queda determinado por la profundidad del agua subterránea por debajo de la rizosfera, propiedades capilares, conductividad hidráulica y contenido de humedad del suelo. No habiendo estratos de baja conductividad hidráulica, cabe considerar que el nivel del agua subterránea por debajo de la rizosfera, en que la contribución a dicha rizosfera húmeda se reduce a menos de 1mm/día es aproximadamente de 0.50m en suelo de textura arenosa, 0.90m en arcilloso, y 1.20 a 1.25m en textura franca.

Hasta aquí se hace alusión a la importancia de una superficie freática como aporte de agua; sin embargo, existe una profundidad a partir de la cual el contenido de oxígeno restringe el normal crecimiento de la raíz definida como *profundidad crítica*. Así, FAO (1976) señala que con una superficie freática a 0.50m de profundidad en cultivo de trigo, avena, cebada, soya, debido a su tolerancia media al anegamiento y déficit de oxígeno (2-5% como O₂), rinden un 60-80% de su rendimiento máximo, mientras que el maíz menos del 60%, debido a su mayor sensibilidad a la ausencia de oxígeno (requiere más de 10% de O₂).

En general se acepta que suelos con textura arenosa tenga superficie freática más alta que si fuese arcillosa o franca, debido al mayor tamaño de poros de los primeros. Así, para obtener máximo rendimiento, en *suelo arenoso* la superficie freática se debe ubicar a más de 0.20m de profundidad de la raíz; en *arcilloso* a más de 0.40m y en *franco* a más de 0.80 m.

La *profundidad efectiva* indicada por FAO (1976) para cultivos frecuentes en la región del noroeste bonaerense, en suelo profundo y homogéneo, son las siguientes: *alfalfa* 0.90-1.80m; *maíz* 0.75-1.60m, *soya* 0.60-1.25m; *cereal en general* 0.60-1.50m y *pasto en general* 0.60-1.00m.

Consecuentemente, la profundidad efectiva varía marcadamente en función de la humedad del suelo (principalmente en las primeras etapas de desarrollo), presencia de una superficie freática alta u otros factores. Igualmente, la evapotranspiración del cultivo se estima tiene muy diferentes valores, dependiendo de un número grande de variables vinculadas al clima, suelo y cultivo, y consecuentemente, también será variable dentro de cierto margen, *la profundidad en la cual la superficie freática efectivamente provee agua sin restringir el crecimiento por escasa profundidad efectiva*.

A continuación se indican valores estimados de evapotranspiración según FAO (1976): *alfalfa* 600-1,500; *árbol caducifolio* 700-1,050; *cereal secundario* 300-450; *maíz* 400-700; *soya* 450-825; *sorgo* 300-650mm de agua.

Gupta (2007) indica la variación en el rendimiento de diferentes cultivos en función del tiempo en que el cultivo permanece anegado, y lo compara con el mismo cultivo cuando el suelo es drenado mediante drenes. Así por ejemplo, para girasol, si el suelo es drenado el rendimiento es de 1,860kg/ha, mientras que si dicho suelo permaneciera anegado por 1 día disminuiría el rendimiento en un 13%, y con 6 días de anegamiento se tendría un 30% de disminución de rendimiento.

Tabla 2.16 Rendimiento para algunos cultivos con suelo drenado y como afectaría el mismo (%) según el tiempo en que el suelo se mantenga anegado (Gupta, 2007)

	Rendimiento Kg/Ha drenado	% disminución de rendimiento respecto a lotes drenados			
		Días con anegamiento			
		1	2	4	6
Sorgo	4,130	3	11	16	20
Trigo	4,200	8	17	27	39
Cebada	3,650	4	7	13	25
Girasol	1,860	13	19	2	30

2.4. Ecosistemas y agua subterránea.

2.4.1. Principios básicos del uso de los sistemas de flujo en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico

El funcionamiento del agua subterránea y la vinculación de ésta con el agua superficial, y consecuentemente la cantidad de agua accesible para ser usada por el hombre ha sido normalmente estudiada mediante el *balance hídrico*. Sin embargo, se ha comprobado en muchos sitios del mundo (Freeze y Cherry, 1979; Ward y Robinson, 1990) que no es factible definir con este modelo el buscado funcionamiento, por varias causas que pueden resumirse en dos principales: *i)* considera al agua en forma estática, y no incorpora al agua subterránea como un componente ambiental, y *ii)* las variables que utiliza para su cálculo son estimaciones generales que adolecen de confiabilidad ya que usualmente no se miden directamente y representan cantidades sustanciales en el balance, por ejemplo, la escorrentía y la evapotranspiración; la precipitación es a menudo el único que se considera relativamente correcto, más en general hay insuficiente registro en espacio y tiempo.

Desde la década de los años 1970's, debido al manifiesto deterioro de la calidad del agua por su uso indebido y una mayor necesidad de agua en cantidad y de buena calidad, se comenzó a estudiar el agua subterránea desde otra perspectiva, desarrollando una metodología que la considera como algo dinámico, desde una óptica integradora, donde todas las variables del ambiente son consideradas y su presencia o ausencia están íntimamente integradas: vegetación, litología, estructura geológica, calidad del agua, presencia de agua superficial, salinidad del suelo, tipo de suelo. Este esquema de análisis permite plantear propuestas de relieve ya que representan condiciones que existen en campo, se denomina: *Teoría de los sistemas de flujo subterráneo*. Su comprensión permite un manejo sustentable del agua subterránea y ecosistemas asociados a ésta. Así, en esta tesis se busca definir y comprender el funcionamiento del agua subterránea de la región del Noroeste Bonaerense desde una óptica integral que incluye la definición de sistemas de flujo subterráneo y su relación con otras componentes del ambiente, incorporando el agua superficial.

Comúnmente **Cuenca superficial** se define como la superficie topográfica de influencia hacia un río; sin embargo, se ha demostrado en muchos lugares del mundo que existe interdependencia hidráulica subterránea entre cuencas superficiales separadas. Vinculación que está enmascarada o no se detecta fácilmente. Esto conduce a error de interpretación al analizar de donde viene el agua que por ejemplo inunda un sitio en forma perenne. Actualmente, se aplica en diversos sitios del mundo el concepto de *continuidad hidráulica regional*, así se reconoce que existen sistemas de flujo regional e interdependencia hídrica subterránea entre distintas zonas de una cuenca o entre cuencas determinadas.

La *Cuenca superficial* se vincula principalmente al patrón topográfico, mientras que la **Cuenca unitaria** es la unidad básica de los sistemas de flujo y resulta de la continuidad hidráulica regional. La última no se define por contraste topográfico sino por contraste hidrogeológico (del subsuelo) que genera flujos que no necesariamente pertenecen a la cuenca superficial de interés. Se propone que la *unidad básica de diagnóstico del agua subterránea* sea el **Sistema de Flujo Subterráneo** y que se define como “una unidad natural y coherente, en espacio y tiempo, consistente de agua subterránea de calidad fisicoquímica particular, que circula por materiales geológicos con una expresión geomorfológica, con vegetación y suelo particulares”.

El referente práctico de aplicación de los sistemas de flujo subterráneo posee **zonas**: 1- *Zona de recarga* (flujo natural de agua descendente), 2- *Zona de tránsito* (flujo natural del agua lateral y horizontal), y 3- *Zona de descarga* (flujo natural del agua ascendente). Cada zona tiene condiciones de agua completamente diferentes y contrastantes, que es viable identificar por

indicadores ambientales: suelo, geomorfología, vegetación, calidad de agua, carga hidráulica, y otros (Figura 2.44). El conocer la localización y características de zonas de recarga y descarga es básico para controlar inundaciones ya que aportan condiciones bajo las cuales el agua pueden ser asequible para actividades agrológicas rentables.

Asimismo, se reconoce que existen tres **sistemas básicos**: *local*, *intermedio* y *regional*. (Figura 2.45). Estos quedan definidos por la distancia y profundidad de recorrido del agua que lo forma (es decir, respecto a un sitio dado, a que profundidad un agua penetró, que distancia recorrió, y donde termina descargando). Así, puede ser que un sistema responda directamente o no a la lluvia dependiendo si es local (respuesta inmediata) o si es regional (no responde a la lluvia del sitio). Los sistemas se reconocen considerando topografía, referente geológico, calidad y temperatura del agua. Los flujos mantienen en el medio subterráneo un recorrido separado (igual que las corrientes en los océanos).

Se busca definir la **calidad fisicoquímica** del agua para postular el funcionamiento de *zona dentro de un sistema*, y *tipo de sistema* que exista. Esto es posible porque el agua tiene “*memoria del recorrido en sus moléculas*”: concentración de aniones diferentes, sólidos totales disueltos, cationes, si es dulce o salobre, si es fría o caliente, si es vieja o joven, si se precipitó a nivel del mar o en la montaña, si tiene elementos contaminantes. Los cambios en la temperatura, pH, Eh, alcalinidad y elementos traza se incorporan en el recorrido de cada sistema y tipo (Figura 2.44).

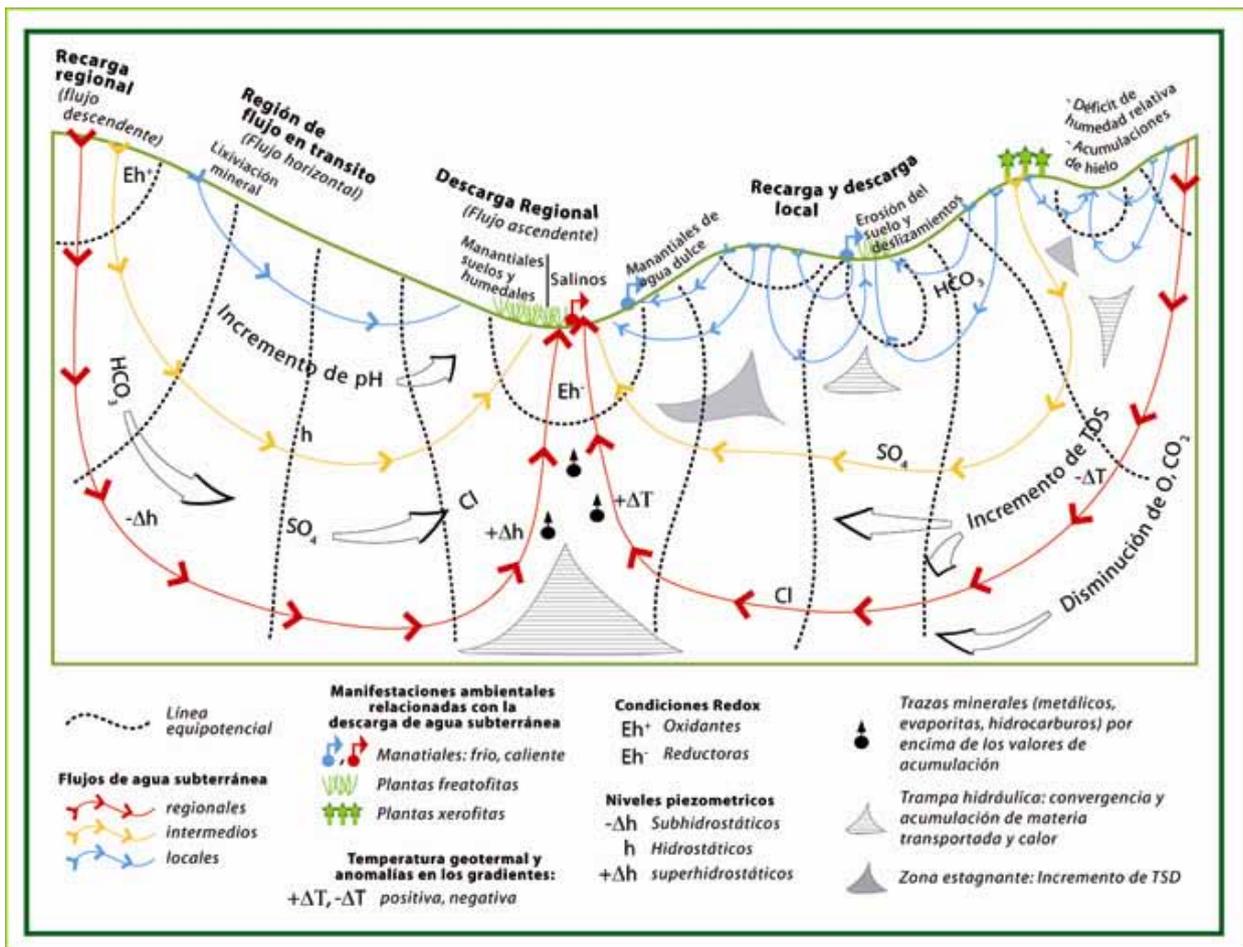


Figura 2.44 Sistemas de flujo subterráneo: zonas de recarga, descarga, e indicadores ambientales asociados

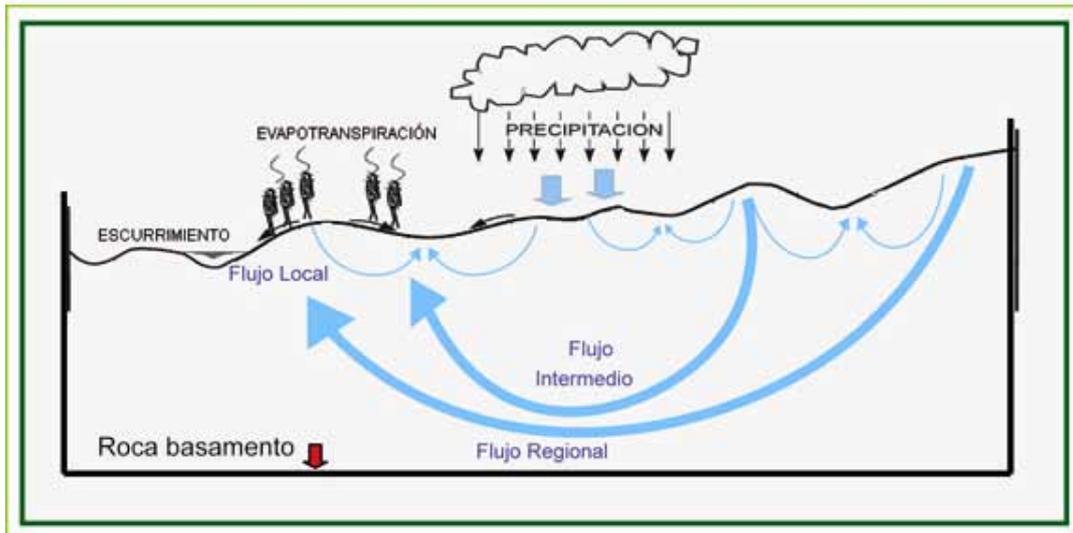


Figura 2.45 Sistemas de flujo subterráneo básicos: *local, intermedio y regional*

2.4.2. Fundamentos de sistemas de flujo y el funcionamiento hidrogeológico

Sistemas de Flujo.- La teoría de los sistemas de flujo desarrollada en las últimas décadas (Tóth, 2000) ha sido el factor determinante de cambio en la perspectiva tradicional para entender el funcionamiento del agua subterránea. Entendimiento que permite planear su manejo y facilitar su protección. La visión del enfoque de cómo se maneja el agua subterránea ha ido evolucionando con el tiempo, es notorio que las primeras investigaciones realizadas desde la segunda parte de la década de 1930's estaban dirigidas al análisis de la respuesta cuantitativa del agua producida por la extracción en los incorrectamente llamados acuíferos donde la respuesta entre la superficie freática observada en el pozo y su relación con las características de porosidad y conductividad hidráulica de la unidad acuífera era el foco de interés.

Para fines de la década de los años 1960's, como una consecuencia de la presencia de las computadoras, fue posible realizar simulaciones del flujo de agua subterránea, no sólo de la respuesta de la superficie freática a la extracción de un pozo en una unidad acuífera, sino también de la respuesta de un campo de pozos localizados en varias unidades acuíferas. En ambos modelos el balance hídrico fue la base fundamental de los cálculos realizados donde el referente era únicamente el sitio donde se localizaba el pozo, o el campo de pozos, y el límite inferior lo constituía la profundidad del mismo que usualmente debía llegar a una unidad geológica "impermeable". Las características fisicoquímicas del agua sólo eran usadas para establecer su calidad con respecto a normas de aplicación para el diferente uso propuesto; el apoyo de información sobre la vegetación, del tipo de suelo, del relieve, de la estructura geológica, del mensaje incluido en las moléculas del agua sobre su recorrido, no se incorporaba.

La siguiente etapa estuvo caracterizada por el análisis integrado de complejos sistemas hidrogeológicos regionales que incorporaban a las aguas superficial y subterránea. En este análisis se deja de considerar al acuífero como el elemento clave para el manejo del agua subterránea y se considera como una variable más del sistema a definir (Rushton, 2003; Price, 2003).

El planteamiento de un enfoque integrado y más completo del manejo del agua subterránea fue introducido en 1986 por Engelen y Jones, donde se considera que la visión clásica orientada a

la unidad acuífera debe ser replanteada considerando la existencia de flujos de agua subterránea entre diferentes unidades acuíferas, definiéndose el concepto de *sistemas de flujo*. Es evidente que la unidad acuífera es un componente importante en cualquier sistema ya que es la que almacena, conduce y aporta agua al pozo, pero bajo esta nueva perspectiva, son los sistemas de flujo quienes representan la unidad funcional básica del sistema hidrogeológico. Tóth (2000) ha confirmado mediante el análisis del flujo del agua subterránea en cuencas los diferentes sistemas de flujo que pueden ocupar una misma unidad acuífera; o por el contrario, que un mismo sistema de flujo puede circular por dos o más unidades acuíferas, los trabajos de este investigador se iniciaron en 1963 y ha producido importantes y diferentes avances a través del tiempo.

Existen un par de condiciones fundamentales por las que se propone la aplicación de la teoría de los sistemas de flujo en el presente proyecto: *i)* la escasa información espacio-temporal en cualquiera de las ramas de la ciencia que se desee aplicar (hidrología superficial, botánica, climatología, hidrogeología, geología, agronomía, edafología o cualquier otra que se requiere considerar) para plantear los procesos involucrados en las inundaciones de la región de interés y buscar soluciones viables, y *ii)* la alta incertidumbre que ocasiona el carecer de información suficiente y confiable a fin de definir los elementos necesarios para corroborar en forma clara las variables utilizadas y en consecuencia tener una respuesta concreta sobre la validez del sistema planteado; y que adicionalmente se magnifica con las modificaciones introducidas por la actividad humana en dicho sistema.

En general la teoría de los sistemas de flujo incorpora las respuestas aportadas por el agua superficial, vegetación, clima, agua subterránea, unidades geológicas, uso del suelo, tipo de suelo; y debido a que cada uno de estos componentes son parte del sistema integral de funcionamiento de la región, consecuentemente deben ser congruentes entre sí. Por ejemplo, la vegetación de galería sólo se vincula a una zona de descarga de agua subterránea, donde el agua tendrá una temperatura y calidad que serán contrastantes con las de la zona de recarga; en este caso la salinidad del suelo si se trata de flujos de tipo regional tenderá a ser de tipo salino-alcalino. Las especies vegetales estarán relacionadas con el tipo de suelo, él que a su vez será una respuesta de la litología del sitio, entre otros factores.

2.4.3. Relación entre ecosistemas y agua subterránea

Los ecosistemas regulan y son consecuencia de lo que ocurre en el agua subterránea. Diversas publicaciones indican la vinculación entre agua superficial y subterránea con la actividad biológica, ecosistemas asociados. Así, se indican situaciones de territorios que se complementan, con generación de ecosistemas diferentes pero vinculados entre sí. Por ejemplo, se menciona la aptitud de algunos árboles de utilizar el agua subterránea, como *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tamarix*, y la relevancia de tales comunidades en sistemas de tipo mediterráneo semiárido, donde se da el contraste entre la vegetación freatófita (zonas de descarga) y zona de recarga. Consecuentemente, el paisaje está vinculado a formaciones vegetales según sean éste zona de recarga, tránsito o descarga de agua subterránea (González-Bernáldez, 1986).

Consecuentemente debe conocerse el funcionamiento del agua subterránea, definiendo principalmente las zonas de recarga y descarga, y cómo éstas se modifican por el manejo del agua y suelo.

Hunt *et al.* (2005) indican que a partir del conocimiento de las corrientes de agua se puede estimar la actividad biológica, existiendo diferencias en su composición en función de que sean zonas de descarga o recarga, su temperatura, edad, etc. específicamente estudian la productividad de comunidades bénticas, estableciendo así la importancia del manejo del agua

según como ésta se integre al ecosistema. La productividad se vincula a diferente microhabitat en el flujo subterráneo que resulta de variaciones en temperatura de las corrientes, transporte de nutrientes, porosidad de sedimentos, entre otros.

Sophocleous (2005) también destaca la importancia de conocer la recarga y descarga de agua, y como se modifican por el manejo de modo de no sólo controlar el uso del agua sino también de proteger el medio del cual depende dicha agua tales como vegetación de ríos, ecosistemas acuáticos, otros. Así, resulta necesario estudiar el efecto de prácticas como el riego sobre la recarga, procurando desarrollar la potencialidad de las tierra sin riego mediante la agricultura bio-salina (cereal resistente a la salinidad).

En la Convención de Ramsar sobre Humedales (2005) se detallan los tipos de humedal, su origen y cómo estos se vinculan con las aguas superficial y subterránea según el caso. Se destaca la necesidad de comprender e incorporar en los estudios sobre humedales el funcionamiento del agua subterránea, como se vincula con el agua superficial, y con la preservación de las características ecológicas del humedal, el cual a su vez puede definir la recarga de agua en el sistema.

Canevari, *et al.* (1998) indican que los humedales engloban muy diversos ambientes acuáticos que en la Argentina son conocidos como lagos, lagunas, cañadas, esteros, bofedales, pantanos, turbales, ríos o arroyos, además de muchos otros nombres regionales. Existen diversas definiciones, estos autores, adoptan la dada por la Convención de los Humedales de Importancia Internacional en Particular como Hábitat de Aves acuáticas, o Convención Ramsar, de la cual la Argentina es parte: “*extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros*”. En síntesis incluye todas las aguas interiores y una franja de costas marinas.

Estos autores, destacan que los humedales suelen parecer sitios muy estables y difíciles de modificar, pero la realidad es distinta y su nivel de pérdida es preocupante, llegando a sobrepasar el 50% en el mundo y en algunos sitios al 90%. Debido a la importancia que cumplen en el ciclo del agua, a su productividad y biodiversidad, así como los múltiples servicios que brindan a la sociedad su conservación y uso sustentable deber ser una preocupación de la sociedad. Se destaca para la región de estudio de la presente tesis, la gran extensión de superficie que se englobaría claramente en lo definido por Canavari, *et al.* (1998) como áreas de humedales, tal como se describe en punto 2.1.6.

En síntesis, los estudios deben: *i)* establecer la función del agua subterránea en el mantenimiento de las características y funciones del humedal; *ii)* el rol del humedal en la recarga y descarga del agua subterránea; y *iii)* el manejo de impactos producidos en el humedal por cambios de calidad y cantidad del agua subterránea. Sin embargo, los procedimientos de estudio analizados se vinculan sólo al balance hídrico, estableciendo alcances y limitaciones del mismo, y proponen el uso de modelos que permiten además estudiar los sistemas de flujo de agua. Así por ejemplo destacan modelos como el MODFLOW que se ha utilizado en muchas partes del mundo para elaborar representaciones del funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea (McDonald y Harbaugh, 1996).

Conacher *et al.* (2002) implementan prácticas de control de salinidad-inundación, y encuentran que una proporción de la sal acumulada en el sitio fue movilizada por el incremento de flujo de agua subterránea dulce y relativamente dulce desde zonas de recarga. Destacan que el control y conocimiento del movimiento de agua subterránea más profunda así como los flujos, resulta

necesario definirlos en todos los sitios; sin embargo, la forma en que se combinan son diferentes así como las técnicas para su control, y requieren futuras investigaciones.

Richardson y Narayan (1995) estudian como se vinculan diferentes ambientes por el agua subterránea, y como el manejo de un sitio puede afectar a otro. Calibraron un modelo *de flujo de agua subterránea* para calcular diferentes opciones de manejo de la salinidad de tierras secas del sur de Australia. Estudian los cambios en la recarga-descarga de agua, y como afectan éstas en los procesos de salinización, estableciendo la necesidad de manejarlas conjuntamente, y trabajar a nivel de cuenca para que tenga efectividad en la disminución de la superficie freática.

2.4.4. El paisaje como unidad de estudio de la geografía física. Componentes del paisaje

El problema planteado en esta investigación, es abordado desde la visión holística de la **geografía**, analizando los hechos y fenómenos del medio físico, biológico, y humano, considerados estos desde su distribución, causas que los producen, y relaciones entre ellos. Específicamente desde la **geografía física**, cuyo objetivo principal es conocer la dinámica y evolución de un espacio para recomendar y diagnosticar sus usos más adecuados, así como los problemas derivados de un mal uso de los elementos naturales.

Asimismo, la geografía física tiene utilidad en el desarrollo de este proyecto, al reconocer la importancia de entender la interacción entre las aguas subterránea y superficial, así como las implicaciones sociales, económicas, y en los ecosistemas. El análisis que puede realizarse a partir del enfoque interdisciplinario que promueve la *geografía física* para plantear y resolver una problemática ambiental, *permite proponer soluciones con mayor posibilidad de aplicación positiva*, ya que considera aspectos que definen la efectividad de una intervención en el ambiente. Así, la geografía física es la ciencia que permite definir las prácticas de manejo de suelo para uso agropecuario y forestal en forma sustentable, a partir de la comprensión del *paisaje*. Es necesario entonces, definir que entidad es el paisaje, ya que es el cual gobernará todas las prácticas que se planteen realizar.

El paisaje y sus componentes primordiales

Mateo (1990) define al **paisaje** como un sistema territorial modificado en sus propiedades originales, compuesto por elementos naturales y antrópicos condicionados socialmente. Se aprecia que la concepción actual del paisaje involucra aspectos que permitan satisfacer las exigencias de la sociedad actual. Este autor, también expresa que el paisaje es una unidad tipológica ligada a una regionalización físico-geográfica, vinculada con el suelo que aparece en cada unidad geomorfológica, y si se reconoce además una intervención humana en dichas relaciones, se concibe al paisaje como una formación antro-po-natural.

El paisaje entonces se concibe como un sistema socio-económico, donde vive la sociedad humana desde su particular perspectiva ambiental, y consecuentemente, deben considerarse los cambios que se han establecido, y buscar las medidas pertinentes que puedan restaurar el paisaje afectado por inundaciones a su valor original o incluso mejorarlo.

Esta concepción del significado de paisaje continua en la actualidad, tal como expresa Benassi (en Belli y Benassi, 2005), quien indica que el **paisaje**, incluye simultáneamente los elementos de la naturaleza y las transformaciones producidas por la actividad humana, haciendo entonces que este sea un objeto complejo, y desde un punto de vista de su comprensión e intervención requiere la inclusión de: *i)* los procesos biológicos y físicos de la naturaleza, y *ii)* el uso que de los elementos naturales el hombre pretende realizar en un sitio, en su circunstancia social y cultural contingente. Así, el paisaje es la expresión y el resultado de un sistema de relaciones del hombre con la naturaleza, que será armónico cuando estas relaciones también lo sean.

Benassi (en Belli y Benassi, 2005) destaca también, que si bien esta ampliamente valorizado, científica y socialmente, es vital la diversidad biológica para la conservación de los ecosistemas naturales, se asiste actualmente al penoso hecho de que se generan tasas inéditas de extinción de especies. En este contexto, se hace inexcusable que si se pretende hablar de *paisaje*, y plantear maneras de operar en él, se inicie una concepción teórica y de procedimientos basados en los principios y leyes de la naturaleza con la finalidad de recobrar una alianza con ella, e incluso subordinarnos, partiendo de conocer sus componentes y relaciones. El aumento de la complejidad de la estructura del paisaje y de su organización interna es la resultante de los cambios progresivos en el desarrollo de dicho paisaje. Es entonces necesario estudiar no sólo lo visible sino también lo no visible.

Consecuentemente, la concepción de paisaje como unidad ecológica superior al ecosistema permite abordar objetivos científicos y técnicos a escala de trabajo en que se produce importante interacción entre distintos ecosistemas terrestres incorporando la componente social. Su consideración, análisis, y comprensión serán primordiales para diagnosticar los impactos antrópicos. Dentro de este último criterio, la relación *vegetación-suelo-agua subterránea como un criterio clasificador del paisaje*, dada la interdependencia que poseen, define el conocimiento que es necesario considerar a fin de programar intervenciones paisajísticas con diferentes objetivos y que busquen ser sustentables.

Los sistemas de flujo y la comprensión hidrológica en el estudio del paisaje

La *comprensión del funcionamiento hidrológico de la región*, teniendo como finalidad un criterio paisajístico de manejo que incluya aspectos socioeconómicos a fin de proponer medidas de uso del suelo agropecuario y forestal, que posibiliten la recuperación de un suelo degradado como consecuencia de una inundación, requiere de conocer y definir los ***elementos que integran el paisaje*** de la estructura natural o geoecológica, así como las relaciones entre ellos y con los elementos de la estructura socioeconómica. La adecuada selección de los elementos a estudiar así como la intensidad de su estudio, posibilita la obtención de resultados eficaces en el estudio del paisaje. Es sin duda un trabajo interdisciplinario, en su formulación conceptual y técnica.

Así, el considerar el funcionamiento del agua subterránea para definir las zonas de recarga y descarga como zonas que se complementan entre sí, en su funcionamiento químico, hidráulico, biológico, geomorfológico, edáfico dentro de un paisaje, permitirá la elección de prácticas de manejo del suelo que posibiliten la recuperación efectiva de los mismos, coadyuvando al control de la inundación.

Los sistemas de flujo son entonces la herramienta que permite estudiar el paisaje en sus aspectos técnico-ambientales, y a partir de esto, posibilitar un desarrollo socio-económico, en síntesis: sistemas productivos sostenibles.

Se destaca que el componente económico, se intenta integrarlo con lo ambiental, en la denominada *Economía Ambiental*, dentro de la cual se tiene la llamada *Economía de la Biodiversidad* que involucra tres niveles de asociación de la biodiversidad: ecosistémico, taxonómico y genético. Sin embargo, debido al hecho de que la economía es una ciencia de las denominadas *blandas*, la cual en forma por demás incomprensible, no ha incorporado aspectos de las Ciencias de la Tierra o de la Geografía a su referente metodológico, en consecuencia, no incorpora las condiciones de funcionamiento en que prevalece el agua subterránea. En la presente tesis, se pretenden efectuar un análisis económico incorporando el conocimiento del resto de las variables ambientales.

A lo dicho se agrega, que además, es necesario que las propuestas a desarrollar, se enmarquen en las disposiciones y reglamentaciones legales, y que a su vez, sean estas consideradas no sólo por su valor monetario sino también por su valor en el ambiente particular

y en una sociedad dada. En síntesis es recomendable que las propuestas deban ser científicamente correctas, económicamente viables, socialmente equitativas, políticamente legítimas, y ambientalmente sustentables.

2.4.5. Integración de elementos del paisaje

Si bien se indica que en la actualidad no existe una metodología probada de integración de variables del paisaje, existiendo en la actualidad propuestas que intentan revertir esta situación (Delgado comunicación personal), algunas publicaciones señalan que logran este proceso de integración de variables. Así, entre los antecedentes sobre integración de variables se destaca el trabajo de Zhang *et al.* (1998) quienes estudian las relaciones entre precipitación, uso del agua subterránea, cultivo y suelo en zonas agrícolas de California, relacionándolo con la profundidad de la superficie freática. Estos autores utilizan los datos de profundidad del agua en más de 1,000 pozos, realizan mapas de uso actual a partir de las fotografías aéreas, utilizan datos de suelo, precipitación, evaporación por el uso de cultivo, entre otra, elaborando un gran número de índices a partir del sistema SIG ArcInfo. De este modo, los autores indican que predicen la elevación de la superficie freática para lo cual elaboran un modelo computacional, a partir del cual es factible predecir el consumo de agua. Si bien, la metodología de estudio de este trabajo puede servir de base para la obtención de índices del ambiente a partir de diferentes relaciones, se destaca que no definen procesos ni funcionamiento del sistema, centrándose en el estudio de la respuesta de la superficie freática a la extracción por cultivo y precipitación. Se destaca que los índices que se desarrollan son conceptualmente similares a los índices integrados desarrollados por Riitters *et al.* (1995) y Hulshoff (1995) (en Zhang *et al.*, 1998).

Pieterse *et al.* (2002), en tierra bajas de la zona entre Holanda y Bélgica, utilizan un SIG denominado *Integrated Decision Support System* (IDSS), para establecer la relación entre diferentes variables que se relacionan con la degradación de tierras, a partir de modelos abióticos o bióticos. Las capas que se consideran en el IDSS son: análisis político; elección de ecosistemas; modelo abiótico y de ecosistemas; medida de restauración; situación actual; simulación con medidas implementadas; cambio ecológico y abiótico; y costo. Asimismo, para cada capa se van estableciendo diferentes sub-capas, estructurando así un SIG con modelos bióticos y abióticos. Se analizan luego los cambios que surgen en el ambiente al modificarse algunos componentes del SIG. Los autores concluyen que la planificación de prácticas para la restauración de un sitio debe realizarse a partir de la comprensión del sitio y del ecosistema a restaurar o implantar, y que siempre hay una selección de ecosistemas a propiciar o no así como medidas a adoptar dentro de cada ecosistema dependiendo de cuestiones económicas.

Steinhardt y Volk (2002) en Alemania, utilizan un SIG que incorpora diferentes componentes del paisaje para una cuenca de 400km² que se emplaza dentro de un distrito de 4,000km².

Santelmann *et al.* (2004) en Iowa, USA, utilizan un modelo de integración de variables a fin de definir las consecuencias en el manejo agrícola continuo de trigo, maíz, y soya. Los autores indican que este procedimiento de análisis permite proponer políticas de manejo diferente, evaluando el impacto del uso de la tierra sobre el cambio en la calidad de agua, social y beneficios económicos, así como efectos sobre la biodiversidad. Se utilizan modelos adaptados a cada uno de los componentes del sistema natural antropizado, tales como el modelo SWAT para evaluar la calidad del agua, EPIC para aspectos económicos, entre otros, y luego lo integran en un modelo general que permite trabajar a nivel de cuenca.

En la Argentina, si bien se han realizado estudios con diferente detalle de gran parte de los componentes naturales y antrópicos de algunas zonas de la pradera pampeana, estos en general son manejados como sectores estáticos, sin establecerse las relaciones que existen y

las consecuencias que posee una vinculación en el manejo posterior. El antecedente más inmediato al presente proyecto es la amplia y completa recopilación efectuada dentro del mencionado Plan Maestro y citado en diferentes puntos de esta tesis (PMI, 1999), sin embargo, no se aprecia que haya habido una labor integradora de las variables incorporadas. Más recientemente, el Ministerio de Obras Públicas, efectúa una actualización al modelo generado en aquella oportunidad en el Plan Maestro, utilizando el programa Mac She, sin embargo, no se incorporan nuevos estudios y se adolece de algunos que serían básicos para comprender el paisaje, tal como la integración del agua superficial con el agua subterránea.

Es importante destacar para este punto, que es frecuente encontrar actualmente en la bibliografía, intentos de abordar el tema del *paisaje* en respuesta a cuestiones mediáticas, pero sin un cabal conocimiento de su significado, y principalmente de las consecuencia de ello. Al igual que con el término *sustentabilidad o sostenibilidad*, difundido en la década de 1980, se produce actualmente una preocupación por introducir el término paisaje más que a abordar el tema, frecuentemente porque se desconoce que es lo que se necesita analizar o conocer a fin de conservar o preservar un sitio, así como también se desconoce como se establecen las inferencias resultantes del análisis integral del paisaje. Así, con frecuencia, se utiliza el término paisaje para describir los efectos vinculados a los sentidos (visuales, sensoriales, auditivos) más que a las ciencias, sin intentar encontrar lo no visible porque se desconoce, así como las consecuencias que trae su omisión en el conjunto. Este es el caso del subsuelo y del agua subterránea, y de sus relaciones con los otros componentes más profundos (referente geológico), y lo superficial (suelo, vegetación, cursos de agua, manejo, obras de ingeniería, y otras). En la región de la pampa deprimida, Buenos Aires, Mackinnon *et al.* (2004), realizan un estudio de integración de variables en el paisaje a partir de imágenes satelitales e información preexistente a fin de dar pautas para el desarrollo sustentable de zonas de humedal, sin incorporar estudios por ejemplo del suelo, subsuelo y agua subterránea, restringiéndose a observaciones de superficie.

Producción sustentable o sostenible

Resulta pertinente para el tema de la presente tesis, y principalmente al hacer referencia a la integración de los elementos del paisaje, indicar los alcances del término sustentabilidad o sostenibilidad.

La ***Sustentabilidad***, se define por primera vez en la década de 1980's, procurando aunar el ambiente con las cuestiones económicas y con la calidad de vida. En esta primera concepción de la sustentabilidad se procura mantener, más que promover un desarrollo de los ecosistemas.

En 1987, Bruntland, define el ***Desarrollo Sustentable*** dando prioridad a la calidad de vida frente al crecimiento meramente económico. Durante un largo período, este término en ámbitos políticos, constituyó una intencionalidad teórica, sin una cabal comprensión práctica de su significado. Surgen entonces otros conceptos que intentan detallar lo que se procura preservar.

El término Gestión sostenible del suelo, hace referencia a un uso del suelo de acuerdo con sus capacidades, el suelo como sistema multifuncional.

Posteriormente se adopta el término de ***Agricultura sostenible***, en el cual se considera al *manejo del suelo* a fin de obtener el máximo de su *función productiva* pero también el máximo de sus *otras funciones*: ***biosférica (fertilidad)***, ***hidrosférica (ciclo hidrológico)***, ***atmosférica (efecto invernadero)***, y *como una geomembrana receptora de flujo de materia, energía e intercambio con otros subsistemas*. En estos conceptos, queda también claramente establecida, la necesidad de conocer no sólo el suelo superficial, sino también el ***subsuelo y el agua subterránea***, debido a que en conjunto definen el ***sistema hidrológico***.

CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de trabajo, referente general

El trabajo de la presente tesis se realizó en *dos escalas de análisis: local*, en la provincia de Buenos Aires, con mayor detalle los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen (Figura 2.3 y 2.5), y *regional*, que incluye desde la vecindad de la provincia de Mendoza al oeste, colindando con la Cordillera de los Andes, y la provincia de Buenos Aires (Figura 2.3 y 2.5). En la Figura 3.1, se presenta el recorrido principal efectuado y analizado, entre las ciudad de Mendoza en la provincia de Mendoza, y Carlos Casares en Buenos Aires. La distancia entre ambas ciudades es de 885km.

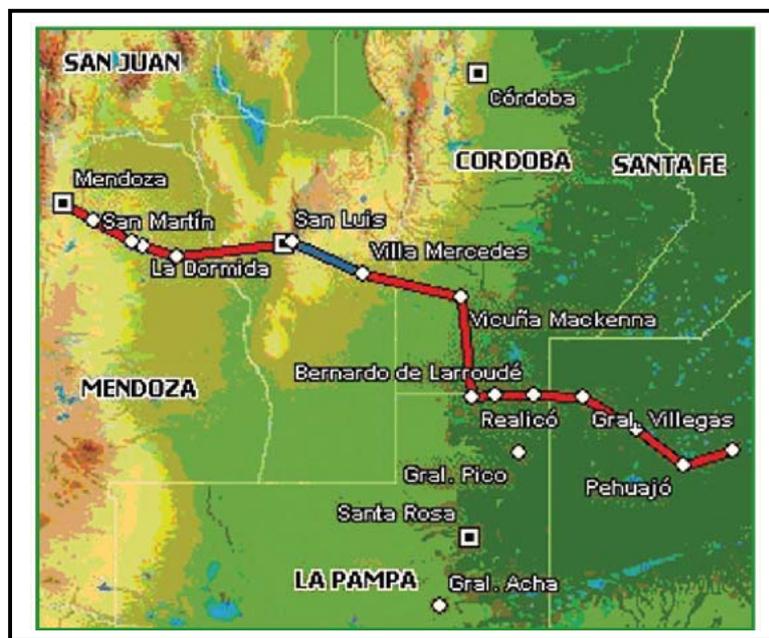


Figura 3.1 Recorrido efectuado y analizado, entre las ciudad de Mendoza en la provincia de Mendoza, y Carlos Casares en Buenos Aires

En la *provincia de Buenos Aires*, se estudió la región denominada Noroeste bonaerense (Pampa arenosa) en el sector de Médanos Longitudinales (Figura 2.1), realizando el trabajo de mayor detalle en los partidos de Pehuajó, y Trenque Lauquen, y en menor medida en otros vecinos vinculados a priori hidrogeológicamente (9 de Julio y Carlos Casares), y se extrajeron muestras de agua de algunas lagunas que podrían también vincularse hidrogeológicamente con la mencionada región del noroeste, en los siguientes partidos: Guaminí, Carhué, y Junín. Los detalles de esta región, que constituye el sitio de análisis de la presente tesis, se presentaron en el capítulo Antecedentes, en el punto 2.1.

La *provincia de Mendoza*, se encuentra entre los 1,000 y 6,959m snm, (Figura 2.6) en el sector oeste en que se corresponde aproximadamente con la eco-región denominada “*Altos Andes*” descendiendo hasta 500m snm en sectores correspondientes a las eco-regiones de la “*Estepa patagónica*” y el “*Monte de Llanura*” (Figura 2.5). La *provincia de San Luis*, si bien en algunas partes la altura continúa siendo elevada, a nivel general disminuye marcadamente respecto a Mendoza, ubicándose entre 200 y 500m snm, y se corresponde con las eco-regiones de “*Chaco seco*” en su parte norte, mientras que el centro y sur se ubican en la región del “*Espinal*”, y una

muy pequeña porción colindante con Mendoza, con “*Monte de Llanura*”. Estas regiones, se continúan en dirección al océano Atlántico, en la eco-región denominada “*Pampas*”, donde las alturas se ubican entre 100 y 200m snm inicialmente, para continuar luego en plena *provincia de Buenos Aires* con alturas menores a 100m snm.

Esta secuencia en alturas y ambientes, que inicia en la cordillera y termina en el océano Atlántico, supone la ubicación de la zona de recarga regional en los sitios más altos de la Provincia de Mendoza, con zona de descarga regional, en o más allá (Océano Atlántico) de la provincia de Buenos Aires.

3.2. Estudio del clima

3.2.1. Obtención de información climática

Se recopiló información disponible para dos escalas de análisis, tal como se indicó en punto 3.1:

⇒ **Local**, en provincia de Buenos Aires en detalle en los partidos de Pehuajó, y Trenque Lauquen, y partidos vecinos, en menor detalle: Carlos Casares y 9 de Julio (Figura 2.5), así como en General Villegas, Lincoln, L.N.Alem, Carlos tejedor, Henderson, y Salliquelo (Figura 2.25).

⇒ **Regional**, provincias de Mendoza, San Luis, Córdoba, La Pampa, y Santa Fe (Figura 2.3 y 2.5).

Se procesó información de precipitación proveniente de diferentes Estaciones Meteorológicas, seleccionadas por su ubicación dentro de la provincia en ámbitos que se estima podría influenciar en el área de estudio de la presente tesis en el noroeste bonaerense.

La información fue provista por los siguientes organismos e instituciones:

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, a través del Instituto de Agua y Clima del INTA Castelar, Agencias de Extensión INTA (Pehuajó, y Trenque Lauquen), Estaciones Experimentales, Chacra Barrow (INTA-MAA), e INTA Villa Mercedes. Asimismo, se obtuvo una gran cantidad de información procesada de la bibliografía, se destaca la facilitada por el INA (Instituto Nacional del Agua) de Mendoza, Agencias de Extensión INTA (Pehuajó, y Trenque Lauquen), y del programa RIAP (Red de información Agroeconómica para la región Pampeana, del INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). De aquí, se obtuvo además de información básica de clima, los balances hídricos para los diferentes partidos de Buenos Aires.

Se contó además, con la información climática provista por el equipo de trabajo revisor del Plan Maestro Integral de la Cuenca del Salado para todas las localidades entre 1911 y 2006. Si bien en algunas oportunidades, se contó con información de evapotranspiración, y otras variables climáticas, para los fines de la presente tesis, se consideró suficiente procesar la información de precipitación. Se destaca, que la información de evapotranspiración, por lo expuesto en capítulo 4 de resultado sobre la calidad de la información, se consideró adecuado analizar directamente los balances hídricos disponibles para los partidos de Buenos Aires, elaborados por el INTA Pehuajó e INTA Trenque Lauquen.

A continuación se indica el nombre de las *Estaciones Meteorológicas* y *períodos* en años considerados:

- *Mendoza*, INTA Rama Caída, en la ciudad de San Rafael, Mendoza; entre 1927 y 2006.
- *San Luis*, INTA Villa Mercedes, entre 1968 y 2005.
- *La Pampa*, INTA Anguil, entre 1907 y 2007
- *Córdoba*, partido de Manfredi, entre 1969 y 2006; y partido de Laboulaye entre 1902 y 1982.
- *Santa Fe*, Rufino entre 1976 y 2007 mensual y anual, y entre 1921 y 2001 por periodos (obtenida de Sociedad Rural Rufino, Santa Fe).

- *Buenos Aires*, partido de Pehuajó entre 1911 y 2007 (INTA Pehuajó y Municipio de Pehuajó), partido de Trenque Lauquen entre 1911 y 2006, partido de Villegas entre 1911 y 2006. Para estos tres partidos, datos mensuales, y anuales. Otros partidos, se utilizó información procesada por el INTA.

3.2.2. Procesamiento de la precipitación

Se realiza por el procedimiento de Anomalías propuesto por García y Hernández (1988). Estos autores indican que la precipitación no sigue una distribución normal, por lo cual recomiendan el uso de la *moda*, ya que resulta más representativa que la media. Destacan que la media se aleja aún más de ser representativa en sitios con eventos extremos. Consecuentemente, estos autores recomiendan a fin de definir si un año fue seco o lluvioso el *cálculo de las anomalías a partir de la moda*.

Cálculo de las **Anomalías a partir de la moda** según procedimiento dado en García y Hernández (1988):

$$\text{Moda} = \text{Media aritmética} - (\text{Desviación estándar})^2 / \text{media aritmética}$$

$$\text{Anomalías} = \text{Valor anual de precipitación} - \text{moda} / \text{moda} \cdot 100$$

A continuación se explica *como se interpretan* los valores obtenidos con este procedimiento:

Moda, todo valor de precipitación inferior a la moda representa un déficit de agua para los cultivos.

Anomalías, en la Tabla 3.1 se presenta la correspondencia entre valores de anomalías y tipo de año. La *anomalía negativa* significa que la precipitación fue menor que la moda, por lo cual hubo déficit para los cultivos, y se considera entonces un año seco. Por el contrario, la anomalía positiva significa que la precipitación fue superior a la moda y por lo tanto lluvioso.

Tabla 3.1 Clasificación del tipo año por su anomalía en la precipitación

Anomalía (%)	Tipo de año
0 - 25	normal
25 - 50	lluvioso
50 - 100	muy lluvioso
>100	lluvioso al extremo
0 - (-25)	seco
-25 - (-50)	muy seco
>-50	seco extremo

3.3. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento digital de las imágenes satelitales fue realizado a fin de cumplir con los siguientes **objetivos**: i) identificar aquel *algoritmo* que mejor discrimine áreas con diferente cobertura de agua, humedad, estado del suelo, principalmente en relación con halomorfismo, y vegetación asociada; como herramienta para establecer la factibilidad de definir las zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga, y consecuentemente, establecer los sitios donde las prácticas agronómicas y forestales propuestas podrán ser implementadas; ii) analizar la *asociación entre la ocurrencia de precipitación y evolución de la superficie con agua* en una secuencia temporal, y establecer si existe cambio en la cobertura superficial del agua que pueda atribuirse a aporte de agua subterránea de otros sitios.

3.3.1 Obtención de Imágenes satelitales

Se obtuvieron dos tipos de imágenes satelitales:

Las Imágenes Satelitales Históricas (ISH), Landsat MSS, fueron facilitadas por Centro de Sensores Remotos de la **Fuerza Aérea Argentina**, quien procesó los archivos en formato tif, y disponía de dichas imágenes entre los años 1980 y 1985, para su uso en la presente tesis, por solicitud de la CONAE, *Comisión Nacional de Actividades Espaciales*, bajo el convenio de dicha institución y la Universidad Nacional de La Plata. Estas imágenes MSS, fueron adquiridas en su oportunidad por la CNIE (Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales).

Las imágenes satelitales (IS) entre los años 1997 y 2007, de los satélites Landsat 5, y Landsat 7, fueron provistas por la **CONAE, Comisión Nacional de Actividades Espaciales**, dependiente del Ministerio del Exterior de la Argentina. La CONAE es el único Organismo del Estado Nacional competente para entender, diseñar, ejecutar, controlar, gestionar y administrar proyectos, actividades y emprendimientos en materia espacial en todo el ámbito del territorio de la Argentina. Por lo expuesto, todas las imágenes provienen de la CONAE, algunas de ellas fueron obtenidas por intermedio del INTA Pehuajó (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), y el Ministerio de Asuntos Agrarios (provincia de Buenos Aires).

Fechas de IS históricas

En el sector del presente estudio, noroeste bonaerense

- *órbita 244 cuadro 085*: 20 de diciembre de 1980; 9 de noviembre de 1981; 1 de diciembre de 1982.
- *órbita 227 cuadro 085*: 14 de diciembre de 1984.

Fechas de IS Landsat 5 y 7, path y row: 227-85.

Se exploró la cobertura Landsat a través del tiempo en el área de estudio y fue posible obtener unas 19 imágenes. Se procuró conseguir imágenes próximas a marzo y noviembre, que fueron las fechas de muestreo a campo del suelo, agua y vegetación. Si bien no siempre fue posible esto, se seleccionaron 2 hasta 3 imágenes por año, y luego se agruparon según correspondan a épocas secas o húmedas, según procedimiento descrito en punto 3.2.2 (procedimiento para definir años muy lluviosos, lluviosos, normales, secos y muy secos).

Los años y fechas analizadas fueron los siguientes:

1997: 12 de marzo - 28 de agosto; **1998**: 8 de marzo - 5 de diciembre; **1999**: 6 de enero - 12 de abril; **2000**: 23 de marzo - 11 de noviembre; **2001**: 11 de noviembre; **2002**: 10 de mayo - 24 de diciembre; **2003**: 15 de abril - 1 de noviembre; **2004**: 19 de noviembre; **2005**: 12 de abril - 5 de octubre; **2006**: 25 de enero - 21 de agosto; **2007**: 17 de marzo.

3.3.2 Georreferenciación, y combinación de bandas para resaltar elementos del terreno: algoritmos

Georreferenciación

Las *IS Landsat* para ser usadas deben estar en coordenadas Gauss Krüger Faja 4 WGS 84 o posgar, La georreferenciación se realiza mediante programa *ERPMapper*.

Las imágenes fueron corregidas geométricamente basándose de información cartográfica del Instituto Geográfico Militar, Argentina, y mediante técnicas polinómicas se corrigió geométricamente *la primer imagen* en proyección cartográfica Gauss Krüger Faja4 Datum Campo Inchauspe con un error planimétrico de 40m. Utilizando esta imagen como elemento único de matcheo (comparación) se procedió a corregir con métodos polinómicos el resto de los datos Landsat seleccionados, este método fue utilizado para que luego el análisis multitemporal nos brinde el menor error posible.

De todas las imágenes se obtuvo un subconjunto de 7 bandas cortándolas con un archivo vectorial, de esa manera se obtuvo una ventana exacta de la zona de interés de los diferentes registros. Una vez resuelto el problema geométrico, mediante análisis digital se aplicaron 19 algoritmos, en las 19 imágenes Landsat correspondientes a los años 1997 y 2007, tal como se describe en el punto siguiente.

Combinación de bandas a fin de resaltar elementos del terreno

Fundamentos de la elección del procedimiento de discriminación

Las IS, se caracterizan por su **resolución espacial** (metros del terreno que representa cada píxel de la imagen), y la **resolución espectral** (cantidad de canales o bandas que registra el sensor, cuanto mayor sea su número, mayor será la capacidad de discriminar elementos de la tierra).

Las *IS Landsat*, son imágenes con una resolución espacial de 80m. por píxel, y con una resolución espectral de 7 bandas (6 color y 1 térmica). Las bandas son: azul (B1), verde (B2), rojo (B3), infrarrojo IR (B4, B5, y B7), e infrarrojo termal IRT (B6). La combinación de bandas permite realzar el color resultante de la imagen, y según como estos sean, permite poner de manifiesto elementos del terreno. Así por ejemplo, el color normal, está constituido por las bandas 1,2,3; y los colores compuestos pueden realizarse con las siguientes combinaciones: RGB 3,2,1 (prevalece el azul), RGB 5,3,1 y 4,3,2 (prevalece el rojo) RGB 4,3,1 (prevalece el verde) RGB 5,4,2 (prevalece el amarillo).

Asimismo, pueden realizarse cociente entre bandas para resaltar elementos del terreno, se destaca entre los que se utilizan para analizar la vegetación los siguientes índices: i) **VI**, Índice de vegetación = $IR/rojo$; ii) **INDVI**, Índice Vegetal Normalizado = $IR-Rojo/IR+Rojo$; iii) **TNDVI**, Índice de Vegetación transformado = $Raíz\ cuadrada\ (IR-Rojo/IR+Rojo)+0.5$.

Si bien, algunos de estas relaciones entre bandas han mostrado resultados satisfactorios para definir el estado de la vegetación, en la presente tesis, se procesaron las imágenes para obtener **algoritmos con diferentes combinaciones de bandas**, que discriminen cuerpos de agua, humedad, y tipos de suelo asociados, a partir de datos de campo en CE, RAS (relación de adsorción sodio), pH del suelo, y vegetación asociada.

Se probaron un total de 19 algoritmos, los que se indican a continuación:

Abrams_Ratios; Clay_ratio; Colordrape_Greenness_over_Brightnessw;
Colordrape_NDVI_over_PC1; Decorrelation_Strech; Edge_Shade_from_NE
Landsat_TM_Tasseled_Cap_in_RGB; Principal_Component; RGB_321; RGB_341; RGB_432;
RGB_541; RGB_541_to_HSI_to_RGB; RGB_542; RGB741; RGB_to_HSI_to_RGB;
Vegetation_NDVI; Vegetation_TNDVI.

3.3.3 Análisis de cartografía planialtimétrica y fotografías aéreas

En un sector seleccionado sobre fotografías aéreas y cartografía planialtimétrica, se realizaron las siguientes tareas:

Sector analizado se encuentra en las hojas IGM, Instituto Geográfico Militar, Argentina 3563-34-2; 3563-35-1, 3563-29-3, y 3563-26-4.

- **Georreferenciación** de fotografías aéreas 1:20.000 del 22 de abril de 1982, única fecha asequible en la Dirección de Geodesia y Aerofotogrametría, del Ministerio de Obras Públicas, provincia de Buenos Aires, y de cartas topográficas 1:50,000 (curvas de nivel a 1.25m de equidistancia).

- **Generación de mosaicos** digitales geo-referenciados de fotografías aéreas, y de cartas IGM, con ERMapper .
- **Digitalización de curvas de nivel** con el programa Autocad (archivos vectoriales), del mosaico digital obtenido a partir de cartas IGM georreferenciadas
- **Generación de un modelo de elevación** mediante ERMapper, a partir de lo obtenido en puntos anteriores.

3.3.4 Análisis multi-temporal

Se efectúa un análisis secuencial de imágenes satelitales de diferente registro temporal (análisis multitemporal). Se analizan mediante los programas Erpmapper, ArcView, Photoshop, los cambios en la cubierta de agua, y se analizan respecto a las precipitaciones ocurridas. Se buscan cambios en la cubierta de agua que pueda asociarse a aportes de agua subterránea de otros sitios.

3.4. Procedimientos de estudios en campo del suelo, agua y vegetación

La metodología utilizada a fin de conocer el funcionamiento hidrológico del área de estudio, y su interacción con áreas vecinas, fue el establecer la jerarquía de los flujos de agua subterránea definiendo zonas de recarga y descarga, y los procesos del aporte subterráneo a zonas inundadas, para lo cual se requiere conocer, la calidad físico-química del agua, y elementos ambientales asociados como suelo y vegetación, aspectos que se describen a continuación.

3.4.1. Recopilación de la información preexistente

Se efectuó una revisión bibliográfica de toda la información relativa al suelo, agua superficial, agua subterránea y vegetación, publicada para el área de estudio, y se estableció contacto con profesionales vinculados y conocedores de aspectos específicos del área, de los cuales se obtuvo una gran cantidad de información inédita, informes de carácter interno, y relato de la experiencia y conocimiento del área de estudio.

La *información previa referida al agua*, se consigna en antecedentes punto 2.1.2.

La *información previa sobre suelo*, se consigna en punto 2.1.3 de antecedentes, no obstante se destaca la existencia para la región de cartografía edáfica: carta 1:500,000 del INTA (1989), y a escala 1:50,000 de INTA, de diferentes años según las hojas, y estudios de detalle efectuados por Dillon, Hurtado, Giménez y Cabral entre los años 1985 y 1990.

La información previa de la vegetación, se consigna en punto 2.1.4 de antecedentes. Para estos temas, y otros, se indica a continuación las fuentes consultadas, organismos públicos (provincial y nacional), y personas físicas referentes en el ámbito público y privado:

- En la *provincia de Mendoza*: donde el estudio fue sólo de carácter general, se contó con colaboración del INA, Instituto Nacional del Agua, ubicado en la ciudad de Mendoza, a través del director de este instituto, Ing Agr MSc José A Moravito, quién facilitó antecedentes del sitio, y posibilitó la vinculación con otros profesionales del instituto de referencia, tal como el Lic. Nicolás Martinis, así como el apoyo de campo del Lic, Aldo Morsucci con quien se identificaron pozos profundos representativos de esta región.
- En la *provincia de San Luis*, se contó con la colaboración de la Estación Experimental INTA Mercedes, a través de los Ing Agr Paula Hurtado y Osvaldo Barbosa pero no fue posible ubicar pozos profundos, esto se debe a que el agua de abastecimiento de la región es provista

mediante acequias y canales provenientes de otros sitios, tal como del Dique Las Carretas que vierte sus aguas en el Río Quinto, del propio Río Quinto, y del Dique La Florida.

•En la *provincia de Buenos Aires*, para el área de estudio se tuvo el siguiente apoyo:

Organismos Oficiales en la región del noroeste, estas agencias, proporcionaron toda la información asequible, tanto publicada como inédita, y facilitaron el acceso a los sitios de muestreo.

- ⇒ Agencia de Extensión INTA Pehuajó, director Ing Agr Juan Carlos Gramicci, Ing Roberto Landa, e Ing Agr Álvaro Pereiro.
- ⇒ Agencia de Extensión INTA Trenque Lauquen director Ing Agr Juan Carlos Cristo, Ing Agr Rubén Álvarez, Ing Agr Germán González
- ⇒ Municipalidad de Trenque Lauquen, Intendente Ing Agr Juan Carlos Font, personal de campo: Luis A. Petit, y Gregorio García.
- ⇒ Cooperativa Municipal 9 de Julio.

En estos dos casos últimos se facilitó el acceso a los sitios de muestreo.

Profesionales privados en el área del noroeste bonaerense.

- ⇒ Dr Geólogo Jorge Mugni, consultor sobre el manejo del agua de abasto de los municipios de Trenque Lauquen, 9 de Julio, y áreas aledañas.
- ⇒ Ing Agr Gerardo Consolanni, especialista en geoelectrónica e identificación de agua con calidad para consumo y uso agrícola en toda la región, asiento en Carlos Casares.
- ⇒ Ing Agr Enrique Leguizamón, asesor privado de establecimientos agropecuarios del área de Trenque Lauquen, Mari Lauquen y 30 de Agosto.

Productores Agropecuarios, pertenecientes a los partidos de Pehuajó, Trenque Lauquen, Carlos Casares, vinculados a través de los profesionales indicados precedentemente, entre ellos: Sr. Picolini, Juan Arbelbide, Miguel Herrero, Alberto Pacheco, Marcelo Boccanera, Ezequiel Real, J.Sienra, Miguel Planas.

Instituciones de carácter provincial y nacional de Argentina Gobierno Provincia de Buenos Aires

- ⇒ Departamento de Planes Hidrológicos, Autoridad del Agua, subsecretaría de Servicios Públicos, Ministerio de Infraestructura, de la Provincia de Buenos Aires, a cargo del Geólogo Eduardo Leyes, y el Geólogo Guillermo Baldeyo, facilitaron toda la información asequible. Por el contrario, no se pudo conseguir información del Servicio Provincial de Agua Potable y Saneamiento Rural (SPAR), debido a que no se encuentra asequible para el público general. Esto muy posiblemente, tenga su origen en las denuncias que hubo en fechas recientes al trabajo de campo realizado (marzo 2007) en toda el área, sobre el tenor excesivo de As en el agua de abastecimiento y posible causa de afecciones que padece la población, tal como cáncer. No obstante, esto pudo subsanarse por las facilidades dadas por organismos de la región específica, tal como se indicó punto anterior.
- ⇒ Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires, Ing Agr Orlando Maiola e Ing Agr MSc Raúl Rosas, facilitaron la información existente en la región de carácter interno, inédita parcialmente desarrollada para el Plan Maestro Integral de la Cuenca del Río Salado, y que se utilizó para el diseño de las obras. El material consta de 4 CD con información pormenorizada de todos los aspectos ambientales, sociales, y económicos considerados para el diseño de los canales y proyecto de desarrollo regional implementado durante el año de 1999. Dr Ángel Menéndez, a cargo de la actualización de los modelos utilizados para el diseño de las obras del Plan Maestro indicado en punto anterior (año 2007), explicó los fundamentos de la actualización de los modelos implementados.

Gobierno Nacional

- ⇒ Servicio Geológico Minero de Buenos Aires, Lic Abel Héctor Pesce, por intermedio del Dr Raineiro Fagundo Castillo, suministró información de pozos con agua de flujos de carácter regional y profundo.
- ⇒ CONAE *Comisión Nacional de Actividades Espaciales*, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, de la República Argentina, *proveyó imágenes satelitales a través de otros organismos oficiales: UNLP obtenidas en forma directa, INTA por intermedio del Ing. Juan Carlos Gramicci, y Ministerio de Asuntos Agrarios de Buenos Aires por intermedio de la Ing. Miriam Presutti.*
- ⇒ Centro de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Argentina, a través del Jefe de dicho centro, Comodoro Jorge Gari, y del Lic. Jorge F. Kimsa, quienes procesaron y facilitaron las imágenes históricas, por solicitud de la CONAE para elaborar la presente tesis.

Profesionales de la Universidad Nacional de La Plata, UNLP

- ⇒ Ing Agr M Sc Raúl Rosa, Profesor Adjunto Administración Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Información referida a economía agraria y procedimientos metodológicos de estudio.
- ⇒ Lic. Juan Carlos Gómez, Profesor Aerofotografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Información relativa a procesamiento digital de imágenes, imágenes, y procedimientos metodológicos de estudio.
- ⇒ Ing Agr Néstor Bayón, Profesor Adjunto de Sistemática vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, con amplia experiencia en la región del noroeste, ha efectuado relevamientos de detalle sobre la vegetación existente en el área del presente estudio.
- ⇒ Geólogo Martín Hurtado, e Ing Agr Jorge Giménez, profesores de Pedología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, facilitaron toda la información en el área referida a suelos. Es la única información de detalle existente en el área.
- ⇒ Dr Nauris Dangaus, Profesor Titular Levantamiento Geológico, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, aportó información existente y experiencia personal sobre el sobre lagunas de la provincia de Buenos Aires,
- ⇒ Geóloga, Nilda González, profesora de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, facilitó la información relativa al área del noroeste y norte de la provincia, específicamente del área de Junín, inédita, y otras de carácter regional, publicada e inédita.
- ⇒ Ing.Agr. Mariana Garbi, docente de Climatología Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, facilitó información disponible sobre procedimientos de análisis de información climática.
- ⇒ Ing. Agr. Marisol Cuellas, profesional Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, y del INTA San Pedro, por su colaboración en el procesamiento de información climática.
- ⇒ Ing. Agr. Miriam Presutti, colaboró en proveer imágenes satelitales.

Instituto de Geografía de la UNAM, México

- ⇒ María Engracia Hernández investigadora del instituto de referencia quien facilitó información asequible y asesoramiento para el procesamiento de la información climática.
- ⇒ José Joel Carrillo Rivera, investigador del instituto de referencia quien apoyó con información hidrogeológica básica para la aplicación del modelo conceptual de los sistemas de flujo de agua subterránea, y apoyó económicamente la investigación.

Instituto de Geofísica de la UNAM, México

- ⇒ Dr Guillermo Hernández García, académico del instituto de referencia por su disponibilidad, entrenamiento, y colaboración en las diversas acciones relacionadas con el manejo del modelo MODFLOW.

Ministerio de Salud Pública, Cuba

⇒ Dr. Sc. Juan Reynerio Fagundo Castillo, investigador del Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional quien apoyo en el manejo de la información hidrogeoquímica e isotópica.

3.4.2. Estudios en agua superficial y subterránea

3.4.2.1. Actividades de campo y laboratorio

Actividades de campo

Las actividades de campo realizadas se diseñaron y planearon de acuerdo con los objetivos particulares del diagnóstico y a partir del nivel de referencia preliminar obtenido de la recopilación y análisis inicial de información existente.

A continuación se describe detalladamente las actividades de campo realizadas, así como el procedimiento que se siguió para la selección de los sitios para la obtención de información. Las actividades correspondientes a suelo y vegetación se presentan en el apartado 3.4.3.

Las principales *actividades de campo* referidas al agua, incluyeron:

- recorridos de verificación de rasgos geológicos superficiales
- toma de muestras de agua en diferentes manifestaciones
- análisis en agua efectuados en el campo
- análisis de muestras de agua

Recorridos de verificación de rasgos geológicos superficiales.- Se hicieron verificaciones de campo para entender el referente geológico de superficie existente en el área de estudio. Se efectuaron comparaciones de la descripción reportada y los aspectos visuales presentes en diversos sitios en el área.

Toma de muestras de agua, las muestras para análisis iones mayores, metales, traza e isótopos estables se tomaron en recipientes de polietileno de 60ml de capacidad, prelavados en laboratorio con una solución de ácido clorhídrico y agua destilada. Una vez colectada la muestra y después de haber extraído todas las burbujas de aire, se selló con tapa y contratapa guardándose a 4°C para su envío a laboratorio para efectuar los análisis respectivos. En cada sitio se colectaron las siguientes muestras de agua:

- una *muestra para metales*, cationes y elementos traza (*Li, Sr, F, Fe, As, entre otros*) se colectó filtrándose en campo utilizando una membrana de acetato de celulosa de 0.45µm; y se acidificó (pH≈2) con ácido nítrico de alta pureza (para evitar precipitación y adsorción de elementos en las paredes de la botella).
- una muestra sin filtrar y sin agregar ácido para análisis de aniones (*cloruro, Cl⁻; sulfato, SO₄⁻*).
- una muestra se colectó para la determinación de *isótopos estables* (deuterio y oxígeno-18) no se filtró ni añadió ningún tipo de conservador.
- por último se colectó una muestra a la que no se añadió ningún tipo de conservador ni se filtró, la cual se guardó para posibles análisis posteriores.

La química del agua subterránea se estudió por medio de 50 análisis físicos-químicos e isotópicos realizados a un número similar de muestras colectadas de freáticos, pozos someros y profundos de abastecimiento (entre aproximadamente 2 y 300m de profundidad), y de aguas superficiales, ríos, diques y lagunas.

Se considera que las muestras entre 6 y 300m corresponden a flujos local e intermedio, los ríos, diques, y lagunas con diferente grado de salinidad se localizan en una zona de descarga de diferente tipo de flujo.

Como referencia representativa de flujos de carácter regional (y profundo) se tomaron datos hidroquímicos suministrados por el Servicio Geológico Minero de Buenos Aires (Cortesía del Lic Abel Héctor Pesce) tal como se indicó en el punto anterior.

En la Tabla 3.2 se indican las coordenadas de todos los sitios, medidas con GPS, en coordenadas UTM (X e Y) y su altura sobre el nivel del mar. La ubicación de los sitios correspondientes a Mendoza y San Luis, se presentan en la Figura 3.2a, los cuales se visualizan en toda el área de estudio, incluso en la provincia de Buenos Aires. En Figura 3.2b, se muestra en detalle los sitios de muestreo en el noroeste bonaerense entre Carlos Casares y Trenque Lauquen. Se destaca que en las Figuras de referencia, se omite la denominación AC que precede a cada número de muestra, colocando sólo los números de 1 a 51.

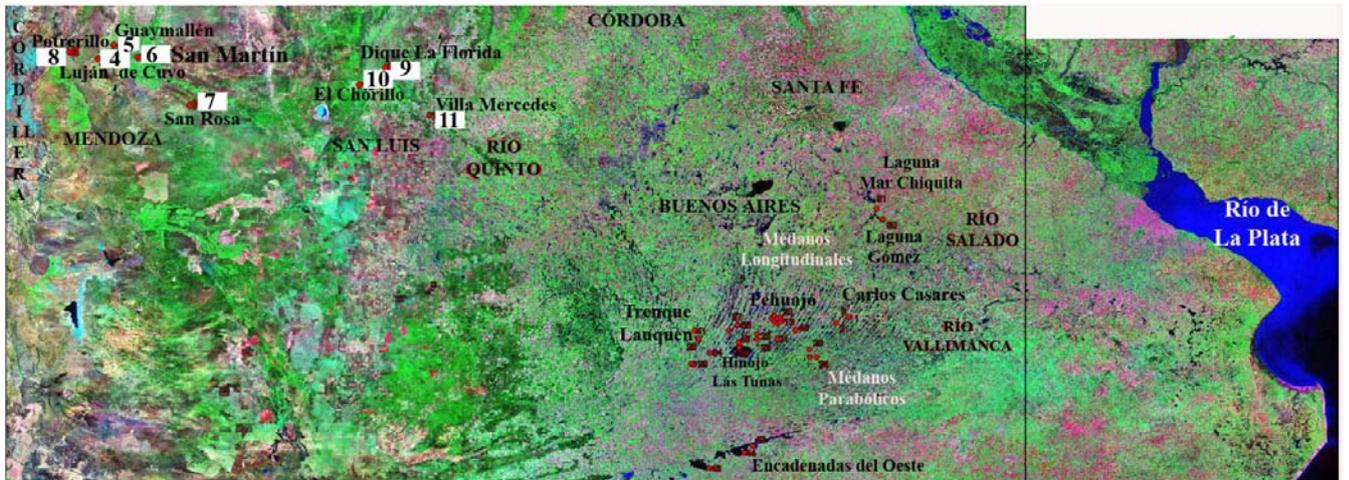


Figura 3.2a Área de estudio desde Mendoza hasta Buenos Aires, se detalla ubicación de los sitios de muestreo correspondientes a Mendoza y San Luis

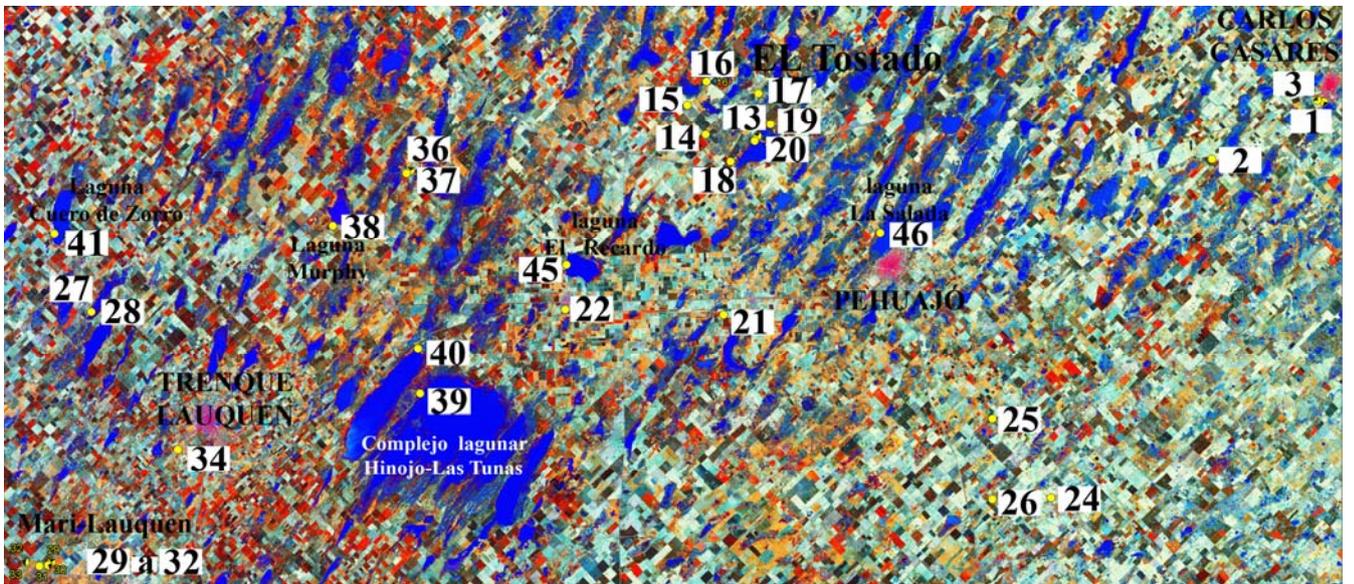


Figura 3.2b Ubicación de los sitios de muestreo correspondientes al noroeste bonaerense, entre Carlos Casares y Trenque Lauquen

Tabla 3.2 Sitios de muestreo de puntos de agua y su localización (coordenadas UTM)

Sitio	Manifestación	Localización	Fecha	Y	X	Elevación (msnm)
AC 1	Pozo de abasto	Carlos Casares	04/11/2006	647574.0	6,054,652	84
AC 2	Pozo	Carlos Casares	04/11/2006	635149.0	6,048,196	90
AC 3	Pozo	Carlos Casares	06/11/2006	646846.0	6,054,845	57
AC 4	Pozo de Agua salada 30 m	Carlos Casares	09/11/2006	509245.0	6,344,972	964
AC 5	Pozo profundo 120 m	Mendoza	09/11/2006	524278.0	6,359,875	672
AC 6	Pozo profundo 200-300 m	Mendoza	09/11/2006	546688.0	6,346,398	645
AC 7	Pozo profundo 300 m	Mendoza	09/11/2006	594670.0	6,292,287	556
AC 8	Dique	Mendoza	10/11/2006	482790.0	6,352,757	1,361
AC 9	Dique	San Luis	11/11/2006	778072.0	6,331,004	1,025
AC 10	Superficial (El Chorrito)	San Luis	11/11/2006	752820.0	6,312,326	775
AC 11	Río Quinto	San Luis	12/11/2006	260663.0	6,278,579	557
AC 13	Laguna temporaria	Pehuajó	19/03/2007	584804.0	6,050,753	82
AC 14	Pozo de bombeo	Pehuajó	20/03/2007	579030.0	6,050,961	88
AC 15	Freatímetro	Pehuajó	20/03/2007	577001.0	6,054,282	88
AC 16	Freatímetro	Pehuajó	20/03/2007	579136.0	6,056,931	87
AC 17	Freatímetro	Pehuajó	20/03/2007	584913.0	6,055,603	83
AC 18	Freatímetro	Pehuajó	20/03/2007	581793.0	6,047,897	84
AC 19	Freatímetro	Pehuajó	20/03/2007	586224.0	6,052,097	80
AC 20	Laguna El Tostado	Pehuajó	20/03/2007	584457.0	6,050,206	78
AC 21	Freatímetro	Pehuajó	21/03/2007	581029.0	6,030,801	84
AC 22	Pozo de bombeo	Pehuajó	21/03/2007	563481.0	6,031,386	87
AC 23	Pozo de bombeo	Pehuajó	21/03/2007	563478.0	6,031,388	89
AC 24	Pozo de bombeo	Pehuajó	21/03/2007	617318.0	6,010,287	93.5
AC 25	Pozo de bombeo	Pehuajó	21/03/2007	610836.0	6,019,107	94
AC 26	Pozo de bombeo	Trenque Lauquen	22/03/2007	610837.0	6,010,105	83
AC 27	Freatímetro	Trenque Lauquen	22/03/2007	5007742.0	6,035,563	97
AC 28	Laguna La Vidaña	Trenque Lauquen	22/03/2007	510965.0	6,031,114	91
AC 29	Pozo municipal	Trenque Lauquen	23/03/2007	506535.0	6,003,175	97
AC 30	Pozo municipal	Trenque Lauquen	23/03/2007	506158.0	6,002,842	102
AC 31	Pozo municipal	Trenque Lauquen	23/03/2007	505204.0	6,002,742	110
AC 32	Pozo municipal	Trenque Lauquen	23/03/2007	503616.0	6,003,136	105
AC 33	Freatímetro	Trenque Lauquen	24/03/2007	503616.0	6,003,135	105
AC 34	Pozo de bombeo	Trenque Lauquen	24/03/2007	520541.0	6,015,692	96
AC 35	Molino (pozo)	Trenque Lauquen	24/03/2007			
AC 36	Molino (pozo)	Trenque Lauquen	24/03/2007	546352.0	6,046,901	86
AC 37	Freatímetro	Trenque Lauquen	24/03/2007	545868.0	6,046,570	87
AC 38	Laguna Murphy	Trenque Lauquen	24/03/2007	537707.0	6,040,776	85
AC 39	Laguna Tunas Grande	Trenque Lauquen	25/03/2007	547418.0	6,021,892	83
AC 40	Laguna Hinojo	Trenque Lauquen	25/03/2007	547159.0	6,026,945	84
AC 41	Laguna Cuero de Zorro	Rivadavia	25/03/2007	506847.0	6,039,895	95
AC 42	Laguna Cochicó	Guaminí	27/03/2007	558476.0	5,911,096	103
AC 43	Lago Epecuén	Carhué	27/03/2007	520061.0	5,886,323	94
AC 44	Laguna del Monte	Guaminí	27/03/2007	550794.0	5,903,721	102
AC 45	Laguna El Recado	Pehuajó	28/03/2007	563618.0	6,036,356	81
AC 46	Laguna la Salada	Pehuajó	28/03/2007	598380.0	6,040,012	87
AC 49	Pozo	9 de Julio	28/03/2007	598378.0	6,040,013	69
AC 50	Laguna de Gómez	Junín	28/03/2007	679889.0	6,163,168	75
AC 51	Laguna de Mar Chiquita,	Junín	28/03/2007	674479.0	6,175,702	76

En la Figura 3.3a se presenta el detalle de algunos sitios de Trenque Lauquen (Tabla 3.2), y en Figura 3.3b del Establecimiento en la localidad de Berutti, Trenque Lauquen cuyas coordenadas se presentan Tabla C1 (Anexo C). En este último caso, se muestrearon suelos afectados (A) y no afectados (NA) por las inundaciones en un establecimiento productivo (cada fila representa igual lote, cuando falta NA, es porque todo estaba afectado). En la Figura 3.4 se presenta el detalle de algunos sitios de muestreo de Carlos Casares y Pehuajó.

La selección de los aprovechamientos donde se tomaron muestras de agua, se realizó con base en la información asequible de registro litológico, comportamiento químico e hidrológico, ubicación geográfica, e información de referente indicado precedentemente.

Un recorrido de campo fue útil en la selección definitiva de sitios, sobre todo respecto a la inspección de instalaciones del aprovechamiento; así, se seleccionaron los que presentaron facilidad para adaptar correctamente el equipo de medición de parámetros de campo. Es de hacer notar que normalmente no fue posible medir o verificar la profundidad a la superficie freática o dinámica debido a que las perforaciones no contaban con un conducto previsto para el caso.

Durante la toma de muestras en *perforaciones para abastecimiento* de agua potable, se cuidó que las muestras colectadas no tuvieran influencia del cloro que se añade para desinfectar el agua. Cuando fue posible se tomó la muestra en una válvula previa al sitio de inyección; se desconectó el motor que inyecta la solución de cloro y/o se cerró la llave de paso que conecta a la tubería de conducción principal

Análisis en agua efectuados en campo.- El análisis de campo incluyó la medición en una celda de aislamiento de: *pH, temperatura, potencial de óxido-reducción (Eh), oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica (CE)*. En Figura 3.5, se presentan los equipos de medición. Esta celda de aislamiento limita la interacción del agua subterránea con la atmósfera, evitando en gran medida que la muestra disuelva oxígeno y se escape dióxido de carbono. Si se realiza la interacción agua subterránea con la atmósfera las lecturas de pH, Eh y CE no serían representativas de las condiciones originales que aquellas que presentan a profundidad en el acuífero (Lloyd y Heathcote, 1985; Claassen, 1982). Los equipos fueron calibrados *in situ* a la temperatura del agua extraída.

La *medición del pH* se realizó de acuerdo con la técnica de calibración en dos puntos conocidos (con soluciones buffer de pH conocido, para calibrar los aparatos a la misma temperatura del agua subterránea), donde el pH a registrar debe ubicarse entre dichos extremos. El equipo utilizado, dispone de pHmetro, termómetro digital y potencial redox (Eh), modelo HI-8424, marca Hanna.

El *potencial redox (Eh)* se midió con un electrodo combinado, que consiste de filamento de platino y un electrodo de referencia. El elemento sensible es el filamento de platino, por lo que se mantuvo limpio y pulido para evitar mediciones erróneas. El electrodo de referencia es de tipo plata-cloruro de plata, inmerso en una solución de KCl saturada con AgCl. Se usó una solución Zobell de potencial redox conocido, para verificar regularmente el correcto funcionamiento del electrodo. El tiempo requerido para la estabilización de lecturas de pH y Eh, osciló entre 15 y 45 minutos. El equipo utilizado es el modelo HI-8424 de marca Hanna.

La *conductividad eléctrica (CE)* se midió empleando el ajuste por temperatura que requiere el equipo utilizado y el aparato se calibró para obtener mediciones reales.

El *contenido de oxígeno disuelto* se llevó a cabo con un electrodo y aparato que después de haberse calibrado, se dejaron instalados para no perder la calibración realizada.

Otro parámetro que también se midió en campo fue la *alcalinidad total* (HCO_3^- y CO_3^{2-}). Para ello se utilizó la técnica estándar de titulación con ácido sulfúrico 0.00114N, con alícuotas de 50ml de agua de la muestra, empleando el método de Gran llevando la alícuota a los puntos de equivalencia para pH de <3 (APHA, AWWA, WPCF, 1989).

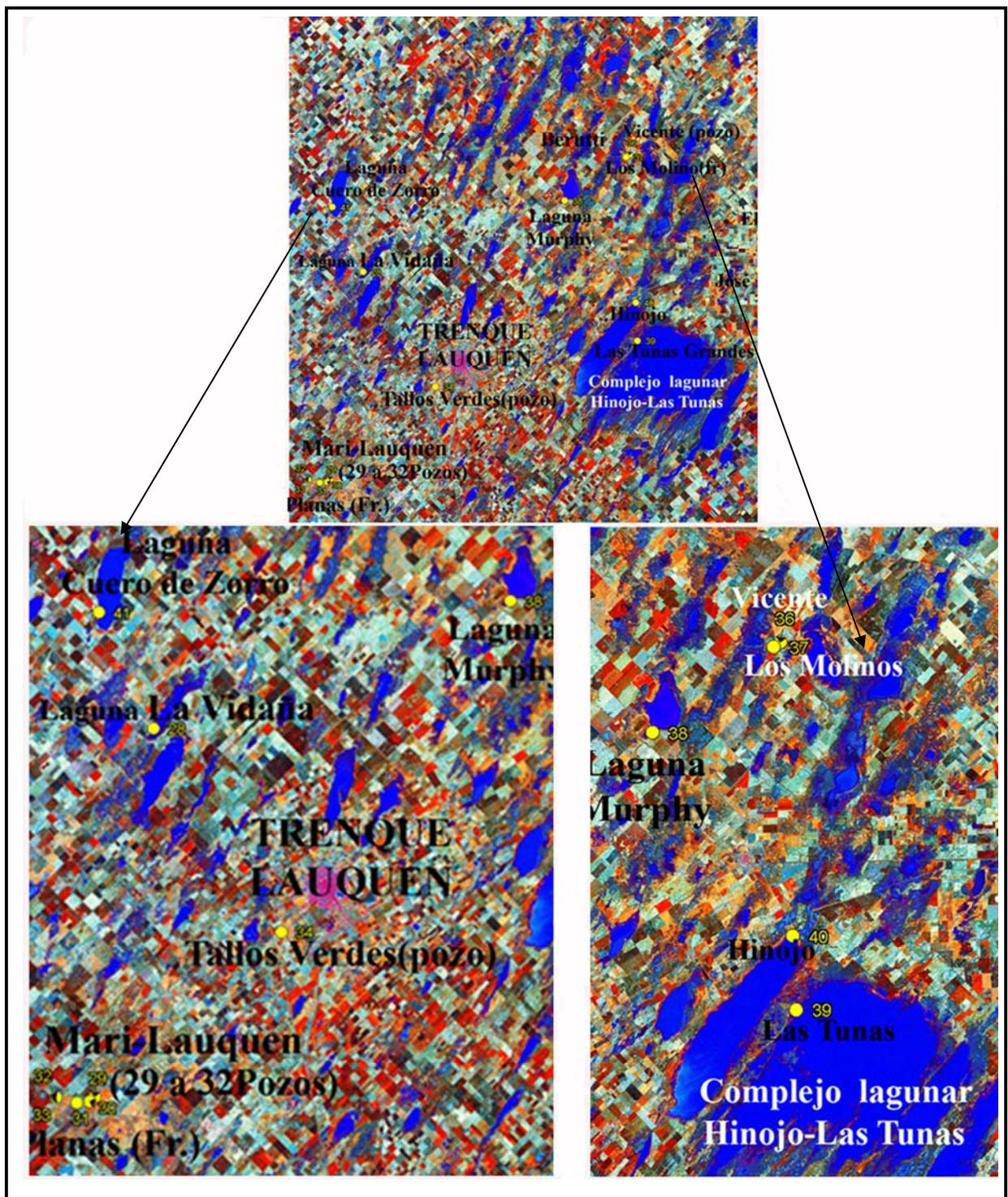


Figura 3.3a Detalle de sitios de muestreo en Trenque Lauquen

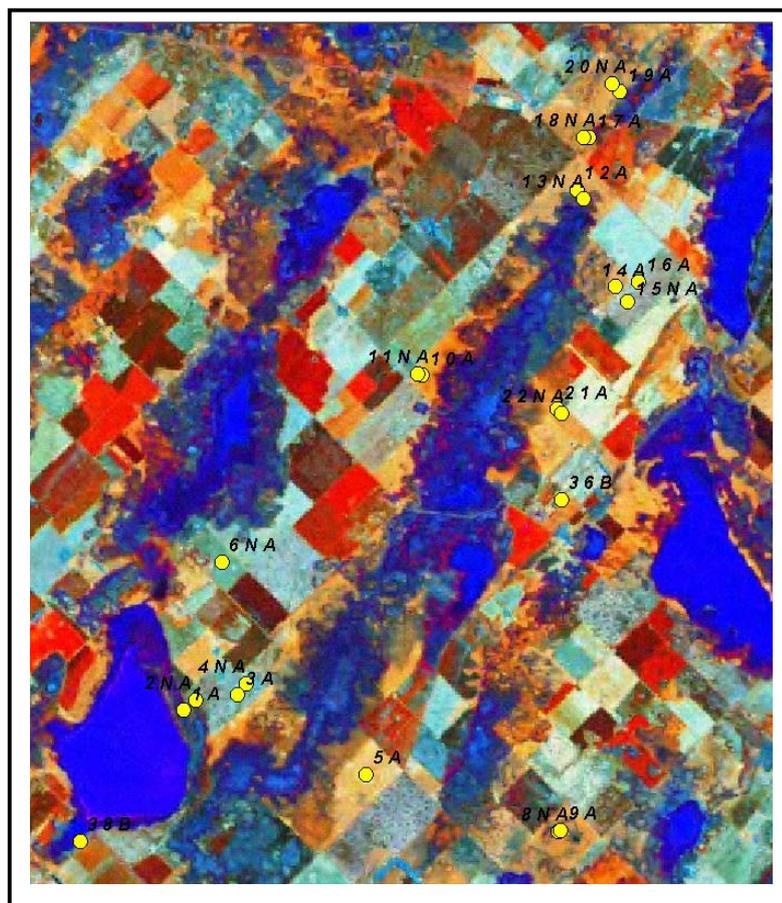


Figura 3.3.b. Detalle de sitios de muestreo en Establecimiento de Berutti (Tabla C1)

Análisis de laboratorio en agua, las actividades analíticas realizadas en laboratorio sobre determinaciones del contenido de elementos y compuestos químicos e isotópicos se reportan a continuación:

Inmediatamente después de la toma de muestras, estas se colocaron en recipientes adecuados con hielo en su interior, manteniendo su temperatura alrededor de los 4°C. Tan pronto como fue posible (alrededor de cinco días después de concluido el muestreo se remitieron las muestras para aniones y cationes mayores, NO_3^- , F^- y SiO_2 y elementos traza (metales) al Activation Laboratory en Ancaster Ontario Canadá y las muestras para isótopos ambientales se enviaron a la Universidad de Arizona en los EUA para su análisis respectivo.

Los indicadores geoquímicos determinados en laboratorio fueron los siguientes:

- iones mayoritarios, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}
- componentes minoritarios y elementos traza: F^- , Br^- , I^- , As^{3+} , Si^{4+} , Li^{1+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{5+} , Zn^{2+} , Sn^{4+} , Zr^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Mo^{3+} , V^{5+} , W^{3+} , Ga^{3+} , Ge^{4+} , Se^{2+} , Pd^{4+} , Rb^+ , Sb^{3+} , Cs^+ , Re^{2+} , Tl^{+1} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Th^{3+} , U^{3+} ; y tierras raras: Sc^{3+} , La^{3+} , Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Eu^{3+} , Gd^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , Tm^{3+} , Yb^{3+} , Lu^{3+} , Y^{3+}
- isótopos ambientales estables, ^{18}O y ^2H .

Las determinaciones de iones mayoritarios, menores y elementos traza de tierras raras fueron determinados mediante ICP-MS. (es el resultado de la combinación de dos técnicas: *Espectrometría de Masas* utilizando como fuente de ionización la antorcha de un plasma ICP, *Espectrometría de emisión atómica por plasma*).

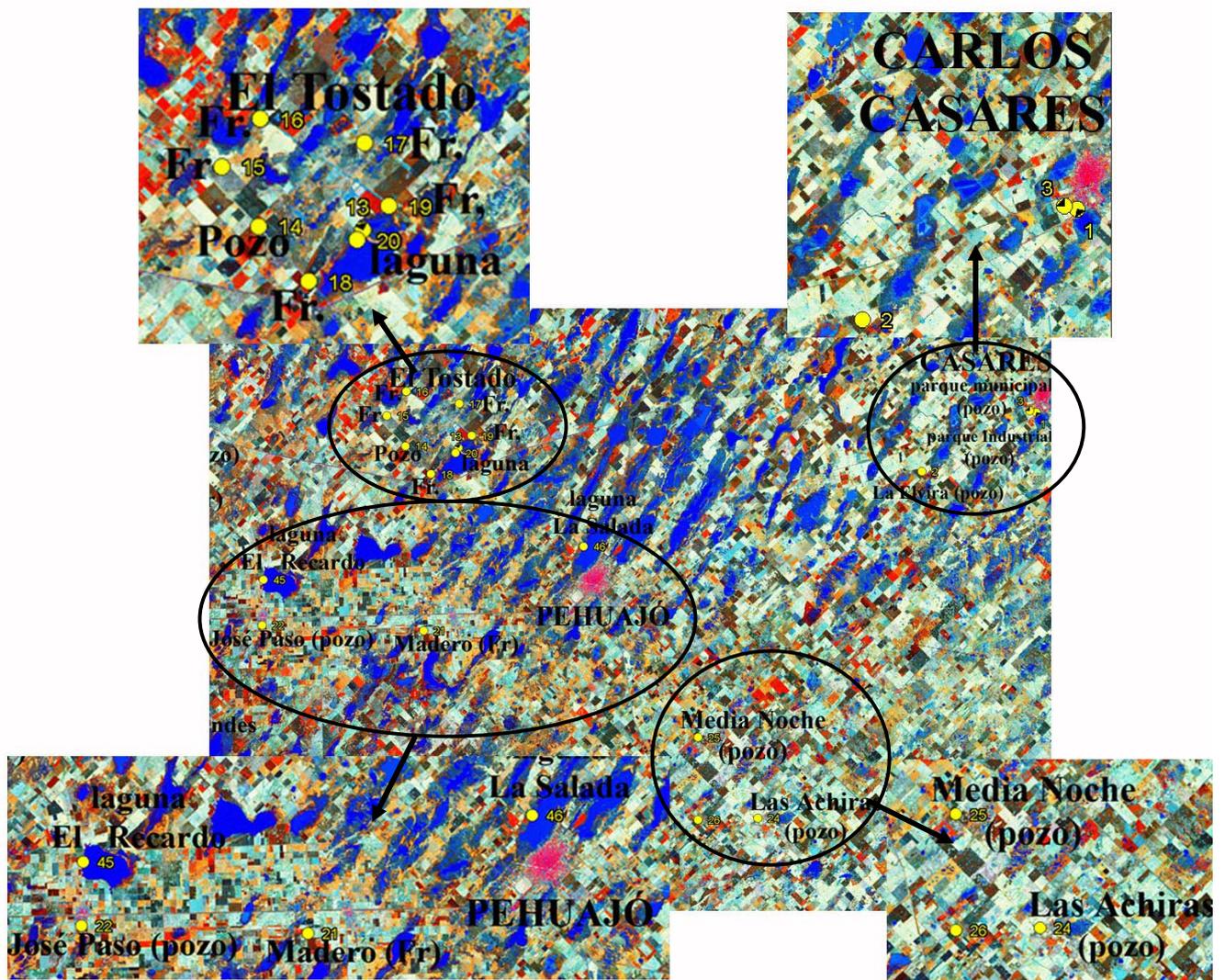


Figura 3.4 Detalle de los sitios de muestreo en Pehuajó, y Carlos Casares



Figura 3.5. Equipos para medir pH, CE, temperatura, Eh, y alcalinidad, en campo.

i) pipeta digital para adicionar ácido sulfúrico de normalidad conocida para calcular alcalinidad, ii) mediciones en pozos, iii) mediciones en lagos y lagunas,

3.4.2.2. Modelo hidrogeoquímico

Propiedades físico-químicas del agua, procesamiento de la información

A partir de datos de agua obtenidos de muestras extraídas a campo, se interpretan y definen *grupos de agua*, que se asignan al flujo de agua y zona (recarga o descarga) según los conceptos dados por Tóth (1995), tal como se explicó en punto 2.4.1 y 2.4.2 de antecedentes, y se aprecia en Figuras 2.41 y 2.42. Aplicando entonces, **la teoría de los sistemas de flujo**, y definiendo las cuencas superficiales y subterráneas, a fin de definir el funcionamiento hidrogeológico.

La *modelación hidrogeoquímica*, tiene como objetivo contribuir a entender el movimiento original del flujo subterráneo, así como de los cuerpos de agua superficial, tales como lagunas. Esta técnica también es útil como apoyo para definir componentes del modelo conceptual del flujo de agua subterránea, para deducir cambios de la calidad original del agua y recomendar el efecto de su uso en alguna cubierta vegetal particular. En este caso, el modelo es utilizado para constatar el comportamiento del flujo de agua subterránea, así como sus efectos sobre suelo y vegetación.

Se utilizaron los siguientes procedimientos de validación y cálculo para establecer la calidad fisicoquímica, para postular el tipo de sistema de flujo (local, intermedio, regional) y su componente identificada (recarga, tránsito, descarga):

- i) *Balance estequiométrico* a fin de constatar calidad de los análisis
- ii) *Clasificación hidroquímica de Kurlov*, de facies hidroquímicas, patrones hidrogeoquímicos del tipo Na+K: Ca: Mg: Cl: HCO₃: SO₄ (Fagundo, 1998)
- iii) *Diagramas de Piper-Hill*, para el agrupamiento del agua en tipos fundamentales y la distribución de los datos hidroquímicos
- iv) *Diagramas de Stiff* (1951) a fin de establecer similitud y diferencia entre grupos de agua definidos en puntos anteriores
- v) *Evolución de la composición química de las aguas*, se estima a partir de los patrones hidrogeoquímicos definidos en puntos anteriores
Los modelos usados para el manejo de la información de los análisis fisico-químicos de campo y químicos de laboratorio e indicados en puntos anteriores son: PHREEQC-a (Parkhurst, 1995), y Modelo AQUACHEM
- vi) *Origen de la composición química del agua*, mediante el sistema informático MODELAGUA: a partir de modelos de reconocimiento de *patrones hidrogeoquímicos, balance de masa y de mezcla de aguas* (Garrels y Mackenzie, 1967; Fagundo-Sierra et al., 2001).
Se incorporan en la modelación, los minerales constitutivos del área de estudio, y procesos geoquímicos que pueden intervenir en su intemperización
- vii) *Estado del agua con respecto al equilibrio químico de diferentes minerales constitutivos* del material geológico por donde circula el agua (seleccionados en punto anterior), mediante el empleo de tablas de cálculo en *Excel*, sistemas de procesamiento gráfico (GRAFERWIN) y el sistema informático PHREEQC-a (Parkhurst, 1995)
- viii) *Ocurrencia de anomalías, y asociaciones geoquímicas* en las aguas, tomando como indicador la concentración media de cada elemento en las muestras objeto de estudio por tipo de agua (grupo).
- ix) *Presencia de componentes minoritarios y trazas*, a partir de la comparación de composiciones reportadas por Drever (1988) para diferentes rocas (granito, basalto, pizarra, arenisca, caliza) y agua de mar.
- x) *Abundancia relativa de los metales de Tierras raras*
- xi) *Procesamiento estadístico*

A continuación se explica el objetivo y se amplía sobre la forma en que esta metodología se utilizó:

Calidad de datos- La calidad de los datos fue comprobada mediante un balance estequiométrico de aniones y cationes, las muestras que poseen un error menor al 5% son las siguientes: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 20, 21, 22, 24, 25, 28, 30, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46, 48 y 49; entre 5 y 10%: 9, 23, 26, 29, 31, 32, 42, 47 y 51; con más de 10% de error se encuentran: 3, 15, 16, 17, 18, 19, 27, 33, 36, 37, 45 y 50. En general, los errores son atribuibles fundamentalmente a la determinación de Na y Cl.

Comportamiento hidroquímico- A fin de *interpretar el comportamiento hidroquímico* de las muestras, se procedió acorde con la facies hidroquímica presentes, siguiendo el criterio de *clasificación hidroquímica de Kurlov*, en el cual se definen patrones hidrogeoquímicos que clasifican el tipo de agua considerando la presencia de un 20% ó más de meq/l de aniones y cationes (Fagundo, 1998), tal como se explica a continuación.

Los patrones hidrogeoquímicos consisten en relaciones estequiométricas del tipo Na+K: Ca: Mg: Cl: HCO₃: SO₄, que en este orden, se asignan números enteros entre 0 y 9, resultando en una combinación numérica entre aniones y cationes. Se definen así, un número determinado de patrones y tipos de agua.

Las combinaciones numéricas formadas por los números enteros (0 a 9) representa el tanto aproximado al “décimo” de la concentración en meq/l. Esto es, si se multiplica por 10 esta cifra se obtendría la concentración en % en forma aproximada.

Así por ejemplo, el patrón 361-316 representa la composición aproximada: 30% de Na+K, 60% de Ca, 10% de Mg; 30% de Cl⁻, 10% de HCO₃⁻ y 60% de SO₄, patrón que correspondería con un agua de tipo sulfatada clorurada cálcica sódica, ya que en la denominación del tipo de agua por el método de Kurlov sólo se consideran los iones con más de un 20% de meq/l para nombrar el tipo de agua. (Fagundo, 1998).

El agrupamiento del agua en *tipos fundamentales* que resultan y la distribución de los datos hidroquímicos se hizo utilizando los *diagramas de Piper-Hill*.

Mediante *diagramas de Stiff* (1951) se aprecia la *similitud y diferencia* entre las diferentes muestras y tipos de agua.

Origen de la composición química del agua- En general, el agua natural adquiere su composición química mediante un complejo proceso de interacciones físico-químicas en donde intervienen, factores de tipo geológico, hidrogeológico, geomorfológico, climático, pedológico, microbiológico, antrópico y otros (Fagundo, 1990). A fin de efectuar la modelación hidrogeoquímica que permita definir el origen del agua, se deben conocer: los patrones hidrogeoquímicos, los minerales constitutivos de los materiales geológicos por donde circula el agua, y establecer los posibles procesos geoquímicos de intemperismo que pueden haber actuado, y expliquen la composición del agua. El sistema informático utilizado es el MODELAGUA que se *basa en modelos de reconocimiento de patrones, balance de masa y de mezcla de aguas* (Fagundo-Sierra et al., 2001). A continuación se explica lo aquí indicado.

La composición mineralógica propuesta para la modelación hidrogeoquímica se estableció sobre la base de la constitución litológica reportada en PMI (1999), González (2005), y presentada en Tabla 2.1. Asimismo, se considera la composición mineralógica de los depósitos superiores en la provincia de Buenos Aires, determinada por Etchichury et al. (1988). Se selecciona aquellos minerales que se consideran prioritarios para realizar la modelación que define los procesos geoquímicos que dieron origen a la naturaleza presente de las aguas estudiadas, donde el intemperismo de las rocas es una causa importante. Los procesos geoquímicos que se consideran se encuentran en el algoritmo del sistema informático.

Mediante el *modelo de balance de masas*, se procura establecer como es la adquisición de la composición química del agua estudiada, y cuales son los principales procesos geoquímicos que participan en el proceso de intemperismo de los minerales que se considera estarían participando.

En el *modelo de mezcla de agua*, se utiliza agua de diferente salinidad: flujo local la muestra considerada fue 17, y para el flujo intermedio la muestra BA2 de la provincia de Buenos Aires

del Catálogo de Manifestaciones Termales de la República de Argentina (Pesce y Miranda, 2003) con una temperatura del orden de 34 °C y mineralización como TDS de 8,286 mg/l.

Evolución de la composición química de las aguas- A partir de los patrones hidrogeoquímicos, tipos de agua, diagramas de Piper-Hill, diagramas de Stiff, definidos precedentemente.

Asimismo, se analiza la *variación temporal de la composición química del agua de lagunas* tomando como referencia, de la literatura, algunos datos hidroquímicos de relevamientos efectuados en las siguientes lagunas: Las Tunas e Hinojo Grande en Trenque Lauquen (Colautti *et al.*, 1998, Colautti *et al.*, 1999; Remes-Lemicov y Colautti, 2004; Berasain y Argemi, 2007b,c); Cuero de Zorro también de Trenque Lauquen (Berasain y Argemi, 2007a); Cochicó en Guaminí (Berasain *et al.*, 2000a; Berasain *et al.*, 2001; Remes-Lemicov *et al.*, 2002; Berasain y Argemi, 2006a), Gómez en Junín (Berasain *et al.*, 2000b; Berasain *et al.*, 2001; Berasain y Remes-Lemicov, 2005; Berasain y Argemi, 2006c) y Salada en el partido de Pehuajó (Berasain y Argemi, 2006b).

Procesamiento estadístico- Se realizó el análisis de regresión y correlación lineal a fin de establecer relaciones funcionales entre las variables representadas por los datos hidroquímicos (Machkova *et al.*, 1993) a fin de determinar y corroborar hipótesis relacionadas con procesos de interacción agua-roca, es decir la forma en que evoluciona la composición química del agua estudiada. Este procedimiento ha sido utilizado, no obstante las limitaciones que presentan, ya que en ocasiones se obtiene correlación significativa entre algunas variables hidroquímicas que si bien no se sustentan sobre base científica permiten, sin embargo, sugerir la correspondencia de posible *causa-efecto*.

La correlación matemática entre los valores de STD y CE al menos con los iones Cl^- , Na^+ , K^+ y SO_4^{-2} , permite confirmar lo obtenido en el modelo de balance de masas, en relación con los procesos geoquímicos que participan en el intemperismo de rocas y la composición de las agua.

A fin de determinar la significancia de la correlación entre variables hidroquímicas, se analiza mediante la *t* de Student para un nivel de probabilidad (P: 0.005 y P: 0.05). El valor de *t* crítica debe ser superior a la *t* de Student para que la correlación sea altamente significativa si $t > t_{0,995}$ y significativa, si $t > t_{0,95}$.

La *t* crítica se calcula mediante la expresión:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Donde *N* es el número de muestras y *r* el coeficiente de correlación.

Despejando *r* en la expresión anterior, se determina el valor mínimo que debe tener el coeficiente de correlación para considerar su grado de significación:

$$r = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + (N-2)}}$$

Determinación de anomalías y asociaciones geoquímicas- Los elementos traza suelen dar origen a anomalías al tener un radio iónico similar en tamaño al de un elemento mayoritario, y consecuentemente reemplaza al mismo en la red cristalina y pasa al agua, por lo cual se encuentra en mayor proporción que si tuviese otro radio iónico, tales como estroncio aparece junto al Ca, y Ba que sustituye al potasio (Rankama y Sachema, 1962). Es decir que la abundancia en el agua de un elemento no sólo depende de su riqueza en la roca, sino también, de la composición y capacidad del agua de disolver los minerales constitutivos de dicha roca en el proceso de intemperismo.

Se dan entonces, asociaciones geoquímicas que originan anomalías. En los sulfuros metálicos (pirita, calcopirita, etc.) es común tener asociaciones con elementos del tipo: Cu, Zn, Mo, Ag, Pb, Se, As, Cd.

La determinación de las anomalías y las correspondientes asociaciones geoquímicas, se tomó como indicador, la concentración media de cada elemento medido en la presente tesis, y se realizaron los estudios por tipos de agua.

Componentes minoritarios y trazas- Su interpretación se realiza a partir de la comparación de composiciones reportadas por Drever (1988) para diferentes rocas (granito, basalto, pizarra, arenisca, caliza) y agua de mar.

Metales de tierras raras- Interpretación de la abundancia relativa de las tierras raras, como indicador del origen del agua, se efectúa por su vinculación con la composición frecuente de estos metales en rocas y minerales, y con el objetivo de evaluar la abundancia relativa del tipo de tierras raras en diferente manifestación del agua estudiada como: laguna, pozo, freáticos.

3.4.2.3 Modelo de análisis isotópico $\delta^{18}\text{O}$ y δD

Principios de interpretación, y evaluación de isótopos estables en agua

La utilidad de la evaluación de isótopos de oxígeno (oxígeno-18) e hidrógeno (deuterio) se debe a que pueden ser utilizados para caracterizar el tipo de fuente, identificar el origen de la recarga de un sistema de flujo determinado y procesos inherentes a la evaporación del agua. Esto es debido a que la presencia de estos isótopos en el agua, se relaciona con la temperatura a la que acaeció la precipitación (promedio) en la zona de recarga y efectos de fraccionamiento isotópico en el agua durante o después del tiempo de recarga (Kalin y Long, 1994).

Es de recordar que la temperatura del agua de recarga está relacionada con la latitud, elevación, distancia de la línea de costa y clima de donde y cuando acaece la precipitación.

Un *elemento químico dado* está constituido por varias especies de átomos de masa o peso atómico diferente. A cada especie atómica así definida se la denomina *isótopo* del elemento propio. Los isótopos de cada átomo tienen el mismo *número atómico o de protones, Z, pero distinto número másico*, lo cual indica que el número de neutrones es diferente y característico para cada isótopo.

Los *isótopos* se subdividen en *isótopos estables* (existen menos de 300) y *no estables* o *isótopos radiactivos* (existen alrededor de 1,200). El concepto de estabilidad no es exacto, ya que existen isótopos *casi* estables. Su estabilidad se debe al hecho de que, tienen un tiempo de neutralización extremadamente largo, aún comparado con la edad de la Tierra. Solamente 21 elementos, por ejemplo el Be, F, Na poseen un sólo isótopo natural, en general la mayoría de los elementos químicos poseen más de un isótopo (Wikipedia, 2007)

En *hidrología* con frecuencia se utilizan *isótopos del H y del O*, para determinar el origen de un agua. El *deuterio*, también llamado *hidrógeno pesado*, es el isótopo estable de hidrógeno con abundancia natural en los océanos de un átomo en 6,400 de hidrógeno. Medidas de variaciones pequeñas en la abundancia natural del deuterio, junto con los de los *isótopos pesados estables del oxígeno ^{17}O y ^{18}O* , son los que permiten determinar el origen y recorrido del agua de la tierra.

Cuando un agua cambia su estado físico por *evaporación* o *condensación* tiene lugar un fraccionamiento isotópico, que origina que una fase se enriquezca más en componentes isotópicos más pesados, mientras otra se enriquece en los componentes isotópicos más ligeros.

El vapor de agua producido por evaporación oceánica sufre una disminución de alrededor de 12-15‰ en ^{18}O y 80-120‰ en deuterio con respecto al agua oceánica.

El fraccionamiento es particularmente dependiente de la *temperatura*. A temperatura más baja, menor es la concentración de isótopos pesados. Este efecto se produce también por diferencia respecto a la latitud, de modo que existe correlación entre la variación de la composición isotópica con la *latitud y altura* de la superficie de la tierra.

Así, la precipitación en alta montaña posee menos isótopos pesados que aquella en tierras bajas. Este fraccionamiento también tiene que ver con el *tipo de clima* en que se produjo la precipitación, esto significa que cuando se analiza un agua subterránea antigua el efecto de la presencia de otro clima en el momento en que se precipitó y recargó debe ser tomado en cuenta.

En síntesis, *en temperatura más baja y alta elevación topográfica hay menos isótopos pesados que a mayor temperatura y menor elevación topográfica*. Diferentes tormentas en un sitio dado suceden a diferente temperatura, estas tendrán variaciones que se producen incluso dentro de un día, por lo que el agua que se infiltrara variara, dentro de un rango, de composición isotópica, día a día.

El análisis de la relación isotópica en la precipitación a nivel planeta muestra una correlación lineal del tipo: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (‰) (Mook, 2001). Esta ecuación que describe una línea recta es conocida como *Línea de Agua Meteorica Global* (GMWL, por sus siglas en inglés). Línea que representa el aumento relativo “ δ ” de enriquecimiento de isótopos pesados en la lluvia con respecto al agua del océano, la cual está en función de la temperatura.

En agua sujeta a *evaporación* ocurre una disminución de la pendiente, debido a que aumenta el “ δ ” en ‰ de $\delta^{18}\text{O}$ respecto al δD , proceso que es común observar en agua que permanece sobre la superficie terrestre antes de infiltrarse e incorporarse a un sistema de flujo. Esto es, un proceso evaporativo y otros procesos que incorporen aumento de la temperatura a lo largo de donde circula el agua subterránea altera la relación del cociente de los isótopos pesados de hidrógeno y oxígeno en el agua haciendo distintiva su composición.

Cuando la precipitación se filtra y alimenta el agua subterránea, la mezcla en la zona no saturada “*suaviza*” la variación isotópica, de modo que el agua adquiere una composición que corresponde usualmente con la composición *isotópica media* de la infiltración en la localidad, característica que es más clara en materiales granulares que permiten dicha mezcla (el caso contrario sucede en rocas fracturadas o cársticas donde usualmente la precipitación puede penetrar en forma directa como resultado, por ejemplo, de una tormenta).

En el subsuelo, la composición isotópica del agua no sufre un cambio ulterior a menos que se realice un proceso de intercambio con el oxígeno de las rocas por donde circula el agua. Estos procesos de intercambio son por lo general muy pequeños a la temperatura que le imprime el gradiente geotérmico al agua subterránea y son, sin embargo, notables en el caso de la presencia de efectos de vulcanismo donde el agua se enriquece relativamente con respecto al deuterio (Craig, 1961).

Debido a las condiciones geológicas imperantes en el área de estudio con presencia de material granular, el efecto al recargarse la precipitación es de *suavizar la variación isotópica*; la carencia de condiciones volcánicas sugiere la ausencia del efecto de enriquecimiento de deuterio.

En el caso de un *lago o embalse* el agua puede encontrarse considerablemente *enriquecida en isótopos pesados* debido al proceso de evaporación. Este enriquecimiento puede estar limitado

por el intercambio con la humedad atmosférica, de modo que su magnitud es mayor cuando la evaporación es más intensa, tal como sucede en lagos salados en regiones áridas como son, en cierta forma, los cuerpos de agua muestreados para esta tesis.

Procesamiento estadístico y análisis

Se estableció la correlación entre la relación isotópica de isótopos estables del oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y del hidrógeno (D/H), correspondiente a muestras de agua de la región estudiada. Se tomó como referencia la línea GMWL.

Asimismo, se compara la relación media de isótopos de oxígeno $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$ e hidrógeno $\delta(\text{D}/\text{H})$ del agua colectada y analizada para este trabajo consistente en muestras de agua superficial y subterránea con la de varios países y regiones (México, Argentina, Estados Unidos de Norte América y Polonia) tomándose como referencia además, la línea GMWL.

3.4.2.4 Modelación matemática del flujo subterráneo

Definición.- Un modelo científico es una herramienta que reproduce el funcionamiento de un sistema natural, teniendo como objetivo definir alguna variable de interés y establecer como cambia bajo diferentes condiciones. De este modo, permite tener una visión de conjunto de los elementos naturales o variables que definen un proceso o conjunto de procesos. Se puede así, establecer la incidencia de cada uno los factores o variables presentes, predecir su comportamiento ante diferente situación de estrés.

Es entonces, una reproducción simulada de un sistema en el que se idealiza y se simplifica en mayor o menor medida las condiciones y los procesos más importantes que ocurren en el lugar de interés, pudiendo experimentar las posibles respuestas ante cambios o acciones.

Existen diferentes tipos de *modelos matemáticos de flujo*, los más utilizados son los digitalizados o numéricos, que requieren una discretización espacial y temporal, y soportan heterogeneidades; resuelven la ecuación diferencial de continuidad y balance de masa mediante matrices en cada una de las unidades denominada celda, en las que se ha discretizado el sistema a simular. Estos modelos se utilizan para simular diferentes procesos, en particular los modelos clásicos de flujo, se usan para buscar información acerca de la distribución del potencial hidráulico (carga hidráulica o elevación de la superficie freática) en espacio y tiempo para cada celda definida en el modelo (Nuñez-Muñoz, 2000).

Etapas principales para implementar un modelo.- Nuñez-Muñoz (2000) sugiere que para caracterizar el sistema a modelar se necesita cubrir los siguientes pasos:

A) Definición del modelo, su implementación y obtención de condiciones iniciales

- ⇒ definir de la literatura especializada el modelo computacional a usar con base en sus características constructivas, las características del sitio a modelar y el objetivo a alcanzar, por ejemplo, simular el flujo isotermal de agua subterránea,
- ⇒ establecer el tipo de información que requiere el modelo y después de obtenerla con trabajo de campo incluirla en el mismo, esto incluye valores para las unidades geológicas de conductividad hidráulica, porosidad, coeficiente de almacenamiento y espesor; la posición del nivel topográfico, de la superficie freática (carga hidráulica) de la roca basamento, así como de barreras hidráulicas o físicas,
- ⇒ someter al sistema natural simulado a un estrés determinado: bombeo, recarga,
- ⇒ predecir el resultado, a partir de considerar diferentes opciones viables,
- ⇒ obtención de datos para lograr una visión tridimensional de la zona de estudio, y una caracterización espacio-temporal de las condiciones iniciales (antes de cualquier alteración humana), y

- ⇒ establecer escenarios de ser posible con parámetros intrínsecos como los geológicos, hidrogeológicos o hidrodinámicos del sitio, y los extrínsecos al sistema (presencia y características de cuerpos de agua superficial, tasa de evapotranspiración, entre otros.
- B) *Ejecución, calibración* (cualitativa y cuantitativamente) y *validación del modelo* mediante iteraciones y modificación de variables, para obtener un resultado acorde con el comportamiento esperado y datos de campo actuales e históricos asequibles.
- C) *Simulación de efectos bajo diferente situación de estrés*, luego de haber construido y validado el modelo. Las situaciones de estrés, pueden ser: extracciones de agua (bombeos) al sistema mediante campos de pozos, implantación de barreras hidráulicas o físicas, drenaje hacia ríos, y visualización de su evolución espacio-temporal.

Modelación con MODFLOW.- El esquema básico del modelo MODFLOW se usó como herramienta adicional para definir la posibilidad de resolver el objetivo del presente estudio, esto se utilizó para entender las condiciones originales (condiciones iniciales) del flujo subterráneo en el área de estudio del noroeste bonaerense como punto de partida para comprender el funcionamiento actual del sistema.

Esto significa, para este caso, saber si efectivamente hubo cambio en el funcionamiento del sistema de agua subterráneo como consecuencia del aumento de precipitación en el último período húmedo que atraviesa la región en estudio, que según estudios realizados (punto 1.1.) se indica un incremento aproximado del 24% con respecto al período seco anterior.

El modelo utilizado es MODFLOW, creado por McDonald y Harbough (1996) para el Servicio Geológico de los EUA; mediante su utilización se buscó conocer el comportamiento del flujo regional del agua subterránea en condiciones originales (naturales) y estimar efectos tales como el producido por un posible aumento de la recarga en el área de interés dado el incremento de precipitación. Este modelo, *resuelve la ecuación que representa el flujo de agua subterránea* en tres dimensiones en un medio anisótropo, heterogéneo y de igual densidad, para un flujo de agua subterránea en un medio isotérmico (a 21°C), y de salinidad baja (≈1,000mg/l, de STD). Se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = Ss \frac{\partial h}{\partial t}$$

Donde:

- K = conductividad hidráulica en las direcciones horizontal (x, y) y vertical (z);
- h = es la carga hidráulica,
- W = flujo volumétrico por unidad de volumen, representa fuente o sumidero de agua,
- Ss = coeficiente de almacenamiento específico del medio y
- t = tiempo.

Adicionalmente con la modelación del agua subterránea se busca:

- ⇒ definir las componentes verticales de flujo (recarga-descarga)
- ⇒ establecer el comportamiento de flujos de tipo local, intermedio y regional así como sus efectos en el área de estudio
- ⇒ conocer la respuesta de la superficie freática ante diferentes escenarios de precipitación
- ⇒ incorporar y constatar evidencias del flujo subterráneo sobre tipo de suelo, calidad fisicoquímica del flujo, tipo de vegetación

Mediante el uso del MODFLOW, se logra integrar información recopilada del sitio en campo, la obtenida en gabinete, así como la generada por el propio modelo.

La información que se incluyó fue la siguiente: información directa, características geomorfológicas (topografía); esquema tridimensional geológico (distribución de las unidades geológicas) por donde circula el agua subterránea; cargas hidráulicas (elevación de la superficie freática), características hidráulicas de las unidades geológicas (conductividad hidráulica horizontal y vertical, coeficiente de almacenamiento específico, porosidad). Información indirecta: tipo de suelo, identificación físico-química del agua subterránea y superficial, situación del flujo en las fronteras (carga constante, impermeable) y condiciones iniciales del flujo de agua subterránea, recarga y posición de la roca basamento.

El programa del modelo está organizado en módulos, de modo de que para cada uno de ellos, se efectúa la entrada de datos, pudiendo seleccionarse sobre cuales se trabaja, ya que son opcionales. Igualmente, permite diferente tipo de salida, tanto por módulo, como general. Asimismo, presenta interfaces gráficas, y de manejo de datos mediante el agregado del paquete VISUALMODFLOW, que permite visualizar salidas generadas a partir de datos de entrada, por lo que se logran *simulaciones numéricas de diferentes alternativas que representan el modelo conceptual en las tres dimensiones*.

Aplicación del modelo en el presente estudio

A) Caracterización del sistema a modelar, se tiene como objetivo representar las condiciones iniciales implícitas en la elevación de la superficie freática, por lo cual se incluyó las propiedades hidráulicas de los diferentes materiales geológicos presentes, las condiciones de frontera y la elevación topográfica de la superficie del terreno, así como la profundidad a la roca basamento. Se incorpora además, recarga así como conceptualmente, información sobre diferente tipo de suelo y calidad del agua.

Los períodos de estrés a los que se somete el sistema natural simulado fue por períodos de un año, que son los tiempos considerados para la calibración, que se explica en punto C. Los datos se recopilan de la bibliografía existente, trabajo de campo y laboratorio, y se genera información: análisis físico-químicos del agua, modelado de los sistemas de flujo, definición del tipo de suelo, y sistemas de cultivo.

B) Implementación del modelo conceptual simplificado del sistema a simular, se parte de definir el *modelo conceptual* del funcionamiento del agua superficial y subterránea, a partir de la integración ordenada de la información recopilada y de la generada en la región. Esta última, es la que permite *definir los sistemas de flujo* establecidos en el modelo propuesto por Tóth (1962, 1995, 2000) y presentado en punto 2.4.1.

Consecuentemente, se parte de identificar y definir los sistemas de flujo del agua subterránea, con base en la caracterización físico-química del agua, mediante los procedimientos descritos en punto 3.4.2, obteniendo así, la respuesta química del agua superficial y subterránea (punto 4.4). Esto, más la información compilada sobre el sitio en relación con características geomorfología, hidrogeológicas, y geológicas (punto 2.1.2); el tipo de suelo (punto 2.1.3) y evidencia de la posición de la superficie freática (punto 2.2), se utiliza para establecer el modelo de funcionamiento conceptual.

Se destaca además, que el modelo conceptual, permite establecer la sensibilidad de diferentes variables involucradas en el modelo MODFLOW. Esto significa establecer cuáles son aquellas variables que efectivamente modifican o generan resultados apreciables en la modelación que se busca: *cómo se produce variación en la superficie freática bajo diferentes condiciones como cambio en la recarga por el incremento de la lluvia*.

Una de las principales simplificaciones que fue necesario realizar fue excluir el efecto del cambio de la densidad del agua ocasionada por diferencia de temperatura. Esta simplificación

se considera válida ya que no existe extracción de subterránea que cambie las condiciones existentes de flujos estratificados con diferente temperatura. Esto es, se considera que la densidad del agua en el dominio de flujo es constante.

Se aprecia entonces, que el modelo conceptual permite integrar información generada a lo largo de diferentes fases de este estudio, y a partir de esto definir las bases para la modelación numérica,

C) Traslado del modelo conceptual al modelo matemático, la implementación del modelo matemático para la simulación del flujo subterráneo, incluyó varias fases principales: 1) diseño, que incluye la definición de la geometría de los flujos; 2) calibración; y 3) análisis de las posibles alternativas de manejo del agua.

1) Diseño del sistema

Se debió definir las características de las unidades litológicas del subsuelo y dimensión del sistema a representar en una malla, constituida de celdas, cada una de las cuales se le adjudica información referida al sitio que cada celda representa en su superficie total, (distribución espacial), también se incorpora información para un tiempo dado (caracterización temporal). El diseño y tamaño de la malla que contiene las celdas, así como el tamaño de celdas que la integran, se efectuó con base en la comprensión cuantitativa de la información que se dispone, definiéndose como la *geometría* del modelo del flujo a simular.

- Definición de la geometría de flujo.

El modelo se delimitó usando como base topográfica el modelo digital de elevación del mosaico digital elaborado con imágenes satelitales, en la superficie comprendida entre las coordenadas UTM 407,500-5'901,000 y 767,000-6'237,000; que incorpora una extensión de 120,792km². Una representación del modelo de elevación usado se presenta en la Figura 3.6 donde se observa una vista en planta con líneas de igual elevación de la superficie del terreno de referencia.

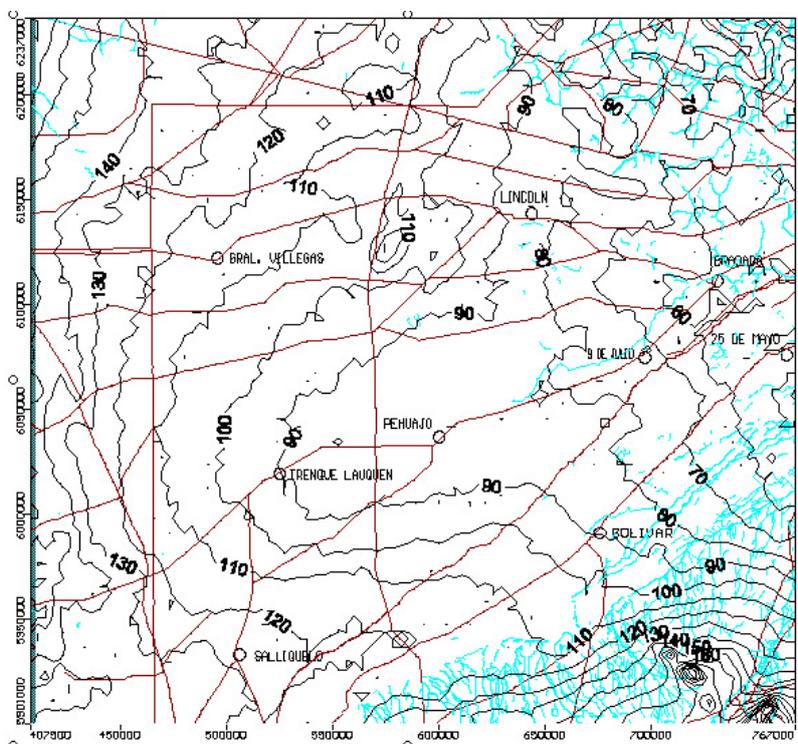


Figura 3.6 Modelo de elevación, vista en planta con líneas de igual elevación de la superficie del terreno de referencia

La delimitación de las celdas utilizadas en el modelo, tanto las activas como inactivas, se da en la Figura 3.7

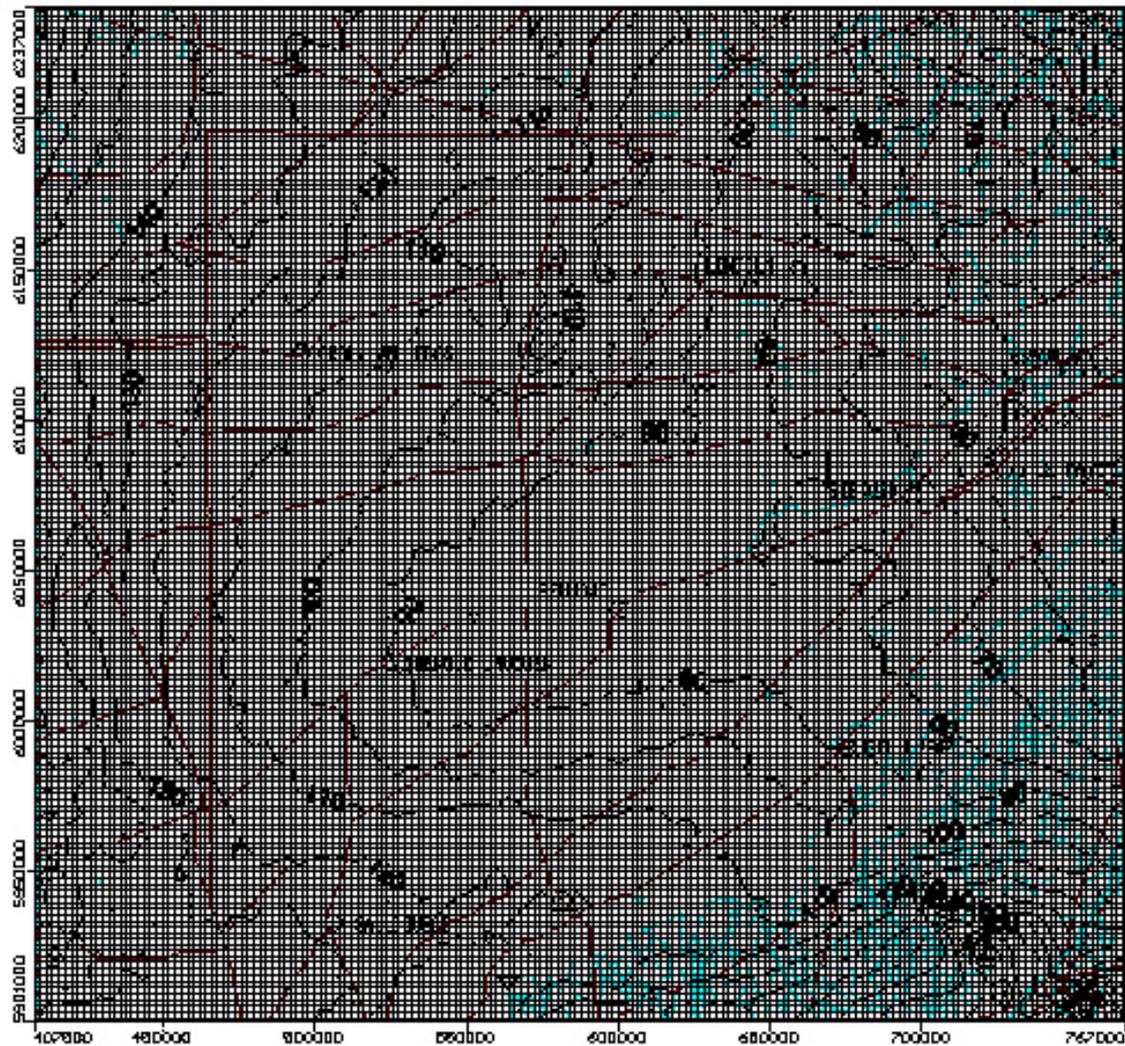


Figura 3.7 Modelo en celdas, malla horizontal con unidades de 1,000 x 1,000m (total de 30,240 celdas: 168 renglones (celdas) en sentido oeste-este y 180 columnas (celdas) en sentido N-S

El modelo en celdas usado consiste de una malla horizontal con unidades de 1,000 x 1,000m, representando un total de 30,240 celdas, esto incluye 168 renglones (celdas) en sentido oeste-este y 180 columnas (celdas) en sentido norte-sur. Un ejemplo de perfiles verticales se muestra en la Figura 3.8 con secciones oeste-este que incorporan un espesor de material de relleno de hasta 5,500m; este material está descrito con el detalle permitido por la información asequible hasta una profundidad de hasta 1,200m incluido en unidades geológicas que se consideran como basamento impermeable (Yrigoyen, 1975, Figura 2.10).

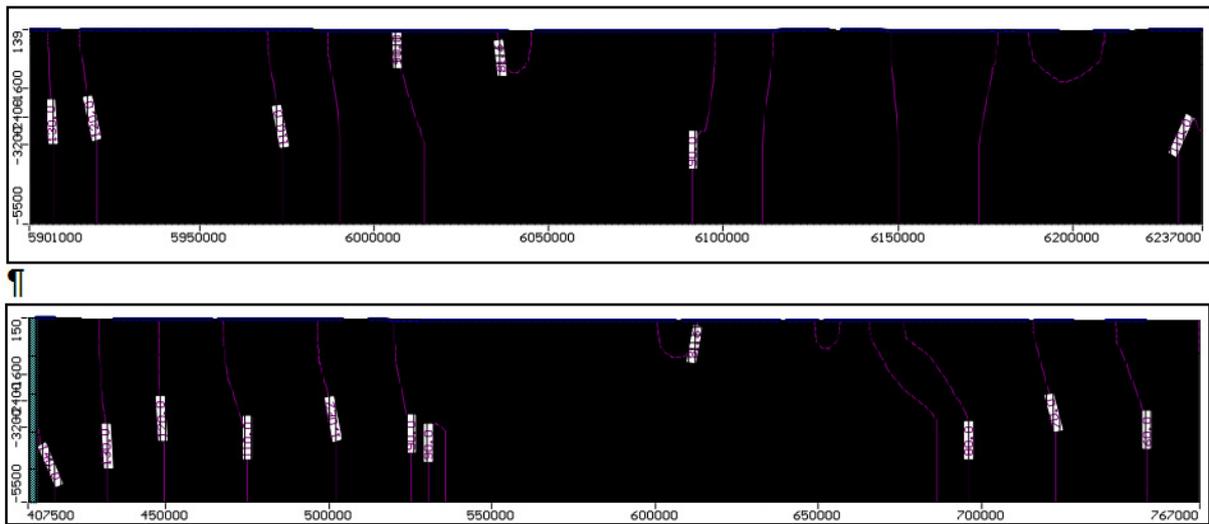


Figura 3.8 Ejemplo de perfiles verticales: secciones oeste-este con material de relleno de hasta 5,500m (descripción de mayor detalle a 1,200m)

- *Comprensión de la información cuantitativa asequible, y definición de valores de las variables que se incorporaron a celdas:*

- i) distribución tridimensional de las propiedades hidráulicas del medio geológico en el subsuelo,
- ii) disposición y condiciones de flujo en las fronteras del sistema analizado (definición del entorno del sistema analizado), y en las condiciones iniciales.

Las **condiciones de frontera**, junto con las condiciones iniciales que se indican en el párrafo (iv) siguiente, y que son necesarias para obtener una solución única para cada combinación de variables dentro del sistema a estudiar, excluye así el efecto del entorno al darle a todas las futuras simulaciones del modelo construido, igual influencia de las mismas condiciones.

Para el caso de la presente investigación como se indicó, se realizó la simplificación de no considerar que existe diferencia de temperatura del medio (agua subterránea) analizado, por lo cual las cargas hidráulicas asignadas consideran que la densidad del agua, por efecto de temperatura y salinidad no tiene variación en el espacio analizado. Las condiciones de frontera usadas están representadas a través de módulos que se denominan de *carga general en frontera (GHB, General Head Boundaries)* que en este caso incorporan un aporte lateral continuo de agua subterránea que es equivalente al flujo de agua que entra en forma constante desde cuencas vecinas

Además, se simuló varias alternativas donde se simula la presencia de sitios de entrada de agua, siendo la principal el simular con *GHB*, y sin *GHB*, en los flancos norte y oeste, esto es, se simuló: *i)* con aporte de agua subterránea proveniente de sub-cuencas vecinas al norte y oeste, y *ii)* sin aporte de dichas sub-cuencas. La distribución de las celdas en que se aplica la condición de frontera se ilustra en la Figura 3.9. La diferencia básica entre ambas condiciones de frontera implica que la presencia de *GHB* incorpora la entrada subterránea de agua proveniente de sub-cuencas vecinas por aporte lateral de agua subterránea, o su ausencia. Estas opciones se analizan en el apartado *calibración*. Sólo con el uso de *GHB* se mantienen las condiciones de la superficie freática observada en campo lo que constata lo que sugiere el referente geológico de que en términos prácticos el área de interés tiene comunicación hidráulica subterránea con otras cuencas superficiales vecinas.

En lo correspondiente al parámetro (recarga) considerado en MODFLOW dentro de las condiciones de frontera, Debido a que no existen mediciones de campo al respecto se optó por incluir valores dentro de los límites considerados en otras áreas como viables. Así, se usaron corridas con 100, 200, 300 y 500mm de recarga (de agua de lluvia) por año en toda el área. Así, considerando que los valores de la recarga reportados a nivel mundial en materiales granulares es de 10-30% de la precipitación, el valor de 30% en el presente estudio se consideró como extremo.

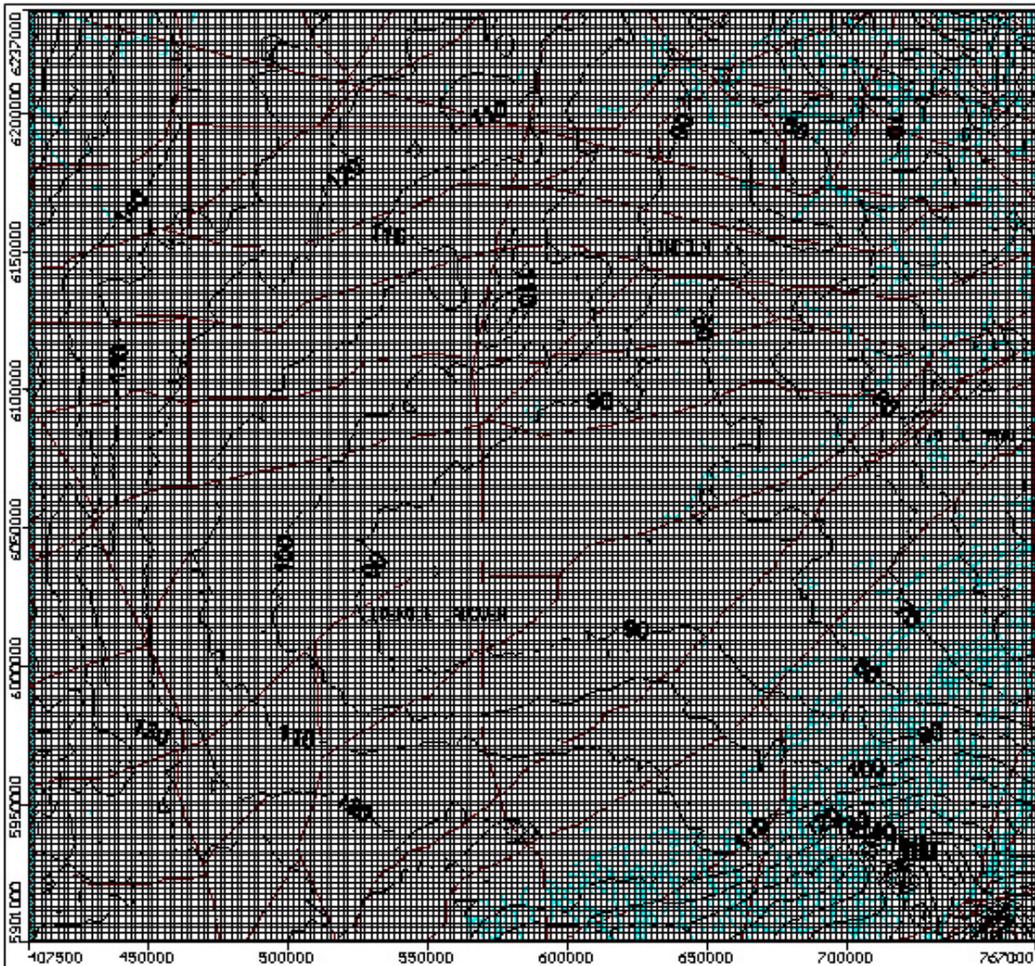


Figura 3.9 Distribución de las celdas en que se aplica la condición de frontera

Se destaca que para definir las condiciones del estado transitorio del modelo (variación de la elevación de la superficie freática en el tiempo como resultado de una extracción) es necesario conocer el caudal de salida a través de los pozos de producción, con lo cual es factible definir lo relativo a la calibración. Sin embargo, esta etapa no se incorporó en la modelación debido a que se carece de datos de extracción por bombeo.

- iii) discretización espacial y temporal de los parámetros hidrogeológicos en el área de estudio (mallado tridimensional de celdas), asignación de valores (parámetros hidrogeológicos que se indican en punto siguiente),
- iv) condiciones iniciales del flujo del agua subterránea y de cargas hidráulicas. Las condiciones iniciales estuvieron representadas por las curvas de igual elevación de la superficie freática determinadas como distribución de cargas hidráulicas del año 1974 (DYMAS, 1974, en PMI, 1999).

En forma estricta las **condiciones iniciales** consisten en una definición de la posición de la superficie freática (potenciometría) que existió antes de que se iniciara cualquier extracción en el área de estudio. En este modelo se usa la elevación de la superficie freática con respecto al nivel del mar como equivalente al valor de la potenciometría (carga hidráulica) por lo que las salidas del modelo se tendrán que evaluar bajo ésta consideración. La definición de condiciones iniciales proviene en este caso de estimar la posición a la superficie freática medida y reportada en pozos de observación y bombeo, lo cual se complementó con una calibración en estado estacionario. Para el presente trabajo se consideró la elevación del nivel estático de 1986 (DYMAS, 1974, en PMI, 1999). Los datos que se usaron como primer año de simulación corresponden a 1974, fecha en que la superficie freática se encontraba por debajo del nivel observado recientemente, dicho estado estacionario dinámico se obtuvo con base en la corrida del modelo durante un periodo de 30 años. En la Figura 2.41 se presentan las curvas isofreáticas para el año 1974 y 1986.

Como se comenta arriba, el modelo incorpora parámetros hidrogeológicos con datos de información lito-estratigrafía asequible que se consignan en Capítulo 2, punto 2.1.2, Los parámetros que se usaron (Tabla 2.2) son: *conductividad hidráulica (vertical y horizontal)*, *coeficiente de almacenamiento específico y porosidad efectiva*, y la distribución de los sedimentos geológicos sobre el basamento hidrogeológico en la provincia se estableció de acuerdo con el referente establecido por Yrigoyen (1975, en Figura 2.10).

Se destaca que en lo correspondiente al *caudal de extracción*, éste es referido al obtenido por pozos someros para los cuales no se tienen datos de bombeo puntual ya que la información asequible es una estimación global en tiempo y espacio; tampoco se tiene conocimiento sobre la extracción de agua por la vegetación. Asimismo, sólo se dispuso de datos referidos principalmente a la litología de la secuencia geológica hasta los primeros metros de profundidad. Esto significa que los pozos sólo penetran una parte somera de la unidad acuífera definida. El análisis realizado con el modelo fue aquel en el volumen debajo del área de interés (tres dimensiones espaciales).

Como se indicó en el párrafo anterior, se usó la conformación inferida de la roca basamento (Yrigoyen, 1975), y la distribución de la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento específico de acuerdo con los valores indicados en la Tabla 2.2. Los valores globales usados para la conductividad hidráulica en X, Y y Z de una capa superior de material granular fueron de 8, 8 y 6m/día, respectivamente; a una segunda capa de material granular se le asignó valores de 7, 7 y 5m/día; a la capa que contiene a estos materiales granulares (roca) se consideró isótropo y se le asignó el valor de 1m/día. El valor usado de porosidad (S_y) fue de 0.05 para las capas de material granular, el valor usado para la roca fue de 0.001. La Figura 3.10 representa una distribución de los valores de las variables de referencia para las unidades litológicas de interés.

Por lo tanto, sólo se consideró pertinente realizar cálculos que permitan establecer las *condiciones iniciales* para con esto entender el funcionamiento conceptual del sistema de interés. Se considera necesario definir las propiedades involucradas con mayor amplitud en los planos horizontal y vertical, en estudios futuros. Lo obtenido en el presente modelado se considera sin embargo, un punto de inicio para futuros proyectos, ya que *no se incorporan otros aspectos* que son también importantes para definir el movimiento del agua subterránea en condiciones donde preocupa la respuesta de la superficie freática a una extracción determinada, esto es: *i)* datos de pruebas de bombeo en los diferentes materiales geológicos, *ii)* registro continuo de medición de la superficie freática y caudal de extracción, y *iii)* medición e interpretación de temperatura y salinidad medida en el agua subterránea profunda.

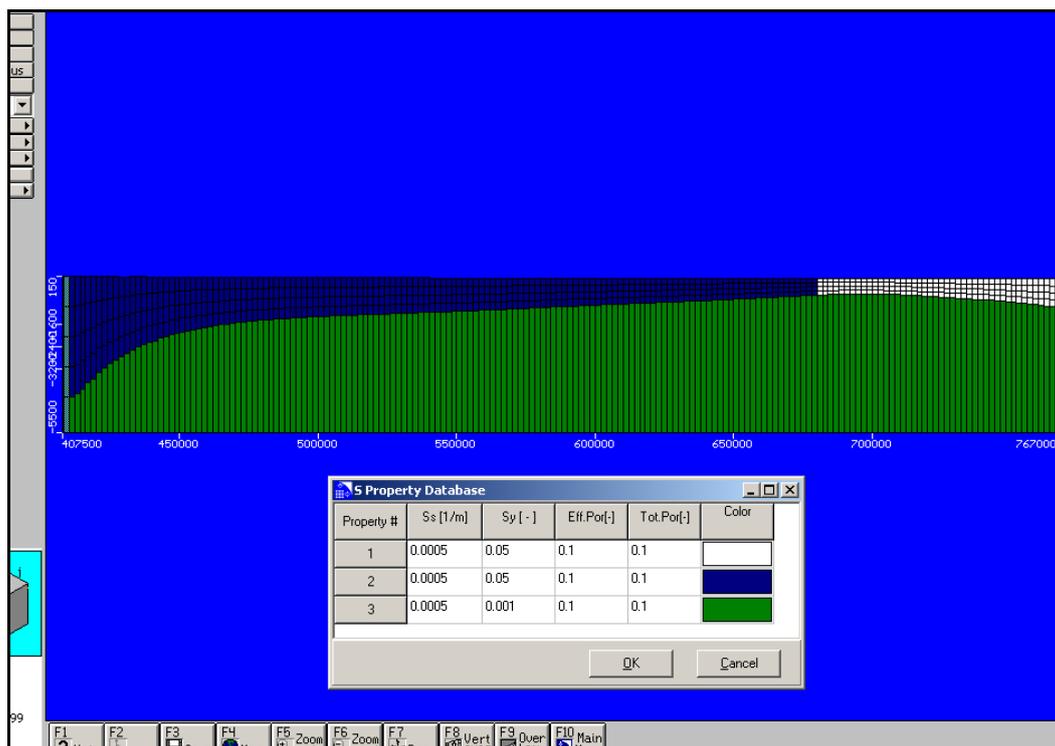


Figura 3.10 Distribución de los valores de las variables de referencia para las unidades litológicas de interés

2) Calibración

En este punto, se describe en forma conjunta, lo sugerido precedentemente por Nuñez-Muñoz, 2000) como puntos B y C sobre las etapas de construcción del modelo, y se reiteran aquí:

- *Ejecutar, calibrar* (cualitativa y cuantitativamente) y *validar el modelo* mediante *iteraciones y modificación de variables*, para obtener un resultado acorde con datos de campo actuales e históricos asequibles, en este caso se consideró 1974.
- *Simular los efectos de diferente situación de estrés*, luego de haber construido y validado el modelo. Las situaciones de estrés incluyó recarga con valores anuales de de 250 y 500mm; evapotranspiración con valor de hasta 1,000mm.

En el *presente proyecto*, la calibración es el proceso para lograr que el modelo simule de la manera más cercana los niveles de agua observados a través del tiempo en el área de investigación. Este procedimiento, se realiza para lograr reproducir en forma satisfactoria la distribución de la superficie freática que se considera que representa las cargas hidráulicas medidas durante el tiempo hidrológico utilizado, que para este caso es el año de 1974.

La calibración se realizó en *estado transitorio*, que implica que los cálculos realizados por MODFLOW permiten que se incluya una evolución de la superficie freática que varía de acuerdo con las entradas y salidas constantes en el tiempo de cálculo, o denominado *periodo de esfuerzo hidrológico* (entendido esfuerzo como el paso de tiempo durante el cual las condiciones de entradas y salidas de agua no cambian). Estos cálculos el modelo los realizó con pasos de tiempo de un año hasta 30 años.

A fin de establecer la simulación transitoria de la evolución del flujo de agua subterránea en el tiempo (estado transitorio del modelo de flujo), se dividió el periodo total de la simulación en lapsos llamados de *estrés* que, como se indicó, se llevarón a cabo cada uno con un paso de tiempo de un año de duración. Esto se realiza por medio de corridas sucesivas del modelo

numérico y a través de una estrategia de *ensayo y error*, que pretende llegar a un ajuste de los resultados del modelo con aquellos de las observaciones reales. En el ajuste se aplicaron criterios de funcionamiento de los flujos de agua subterránea dentro del área de investigación, los cuales fueron congruentes con los conceptos hidrogeológicos definidos para condiciones ideales. Con base en estos conceptos se cuestionaron y validaron supuestos y las respuestas del modelo para que se cumpla con la teoría de los sistemas de flujo así como con observaciones de campo.

Se destaca que los valores de las propiedades incorporadas del material geológico del subsuelo en las celdas (Tabla 2.2) no fueron alteradas en las diversas corridas realizadas, en el modelo se incorporaron valores medios de estos parámetros.

Como se describió, también se establecieron las condiciones de frontera asignando diferentes cargas de agua (*GHB*) laterales y los sitios por donde la misma ingresa de acuerdo con la distribución de cargas en las fronteras para el año 1974.

Si bien no se modificaron los valores de las propiedades hidráulicas y se consideraron valores medios, se hicieron corridas bajo diferentes valores para esas propiedades con la idea de conocer la respuesta del modelo a dichos valores: *i*) mayor y menor conductividad hidráulica en los materiales geológicos de las capas superiores, *ii*) menor y mayor porosidad, con lo cual se obtuvo la sensibilidad del modelo a cambio en estos factores.

3) Análisis de posibles alternativas de funcionamiento de la inundación

Por último, en la fase que se puede denominar *de predicción* se reconocieron los posibles resultados (en la distribución de cargas hidráulicas) producto del cambio de diferentes simulaciones bajo variadas condiciones de funcionamiento del agua subterránea.

Balance de masa.- Una de las salidas del modelo es el balance de masa el cual es una comparación entre las “entradas totales vs salidas totales” en el periodo de tiempo considerado. Este es resultado de incluir toda la unidad acuífera que consiste de una capa con un espesor que se consideró variable, y con un espesor acuífero medio del orden de 1,500m. El material acuífero descansa sobre 3,500m de roca fracturada (granito) con K_x , K_y y K_z con un valor isotrópico de 1m/día y un valor de rendimiento específico (S_y) de 0.001. Es de hacer notar que cualquier extracción actual se realiza sólo en la parte superior de esta unidad. El modelo maneja los cálculos como la respuesta a la superficie freática por una salida (evapotranspiración) o entrada (recarga) dada, también participa la cantidad de agua que fluye en tres dimensiones hacia el área de interés de sub-cuencas vecinas.

Entradas verticales.- Las diferentes corridas realizadas con el modelo MODFLOW para el área de estudio permitieron establecer el comportamiento de la superficie freática bajo diferentes condiciones de recarga y evapotranspiración observándose lo siguiente. La elevación de la superficie freática sufre poca alteración (ascenso/descenso) debido a cambios de la recarga (agua de lluvia). Así si se considera que la lluvia máxima (punto 4.1, y Anexo B) en el área de estudio es de 1,400mm/año, una recarga de 250mm/año se puede considerar como apropiada dado que la mayoría de los cálculos realizados para materiales y condiciones similares sugieren una infiltración de la lluvia de 10 al 30% de la lluvia acaecida. Sin embargo, ni este valor, ni un valor mayor de 500mm/año, produjo un alza en la superficie freática que permitiera postular que la recarga al agua subterránea es la causante de la elevación de la superficie freática observada en campo (y reportada). La superficie freática presenta también poca variación al incluir valores de evapotranspiración de 500 ó 1,000mm/año.

Lo anterior, así como lo observado con el análisis hidrogeoquímico del agua colectada y analizada para la mayoría de las lagunas sugiere que el agua de inundación no se genera en el

área de estudio y que tiene un origen fuera de la cuenca. Esto parece corroborarse con la adición al modelo de fuentes de entrada vertical ascendente de agua utilizando cargas del tipo GHB, las cuales producen el efecto observado en campo del ascenso de la superficie freática. El uso de estas cargas implica la entrada de agua que se genera en una cuenca vecina y cuya respuesta de movimiento se manifiesta por el flujo subterráneo ascendente generado y manifiesto en la sección de la Figura 3.11.

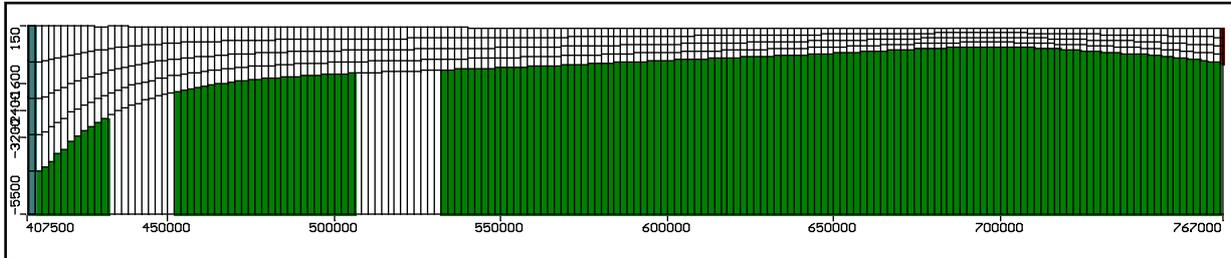


Figura 3.11 Distribución de cargas GHB (celdas en verde) a lo largo de una sección transversal oeste-este en el área de interés

Esto es congruente con lo observado en las zonas del noroeste y áreas vecinas, donde se ha encontrado que para varios sitios, la precipitación no tuvo el aumento comentado del 24% (punto 2.2, punto 4.1 y Anexo B), o su aumento no se correspondió con épocas de inundación, por lo que el ascenso de la superficie freática tiene poca relación con la lluvia y con la recarga que de ésta se pudiera estar generando. Una sección transversal donde se aprecia el flujo vertical ascendente se presenta en la Figura 3.12 y la superficie freática observada para 1974 se presenta en la Figura 3.13.

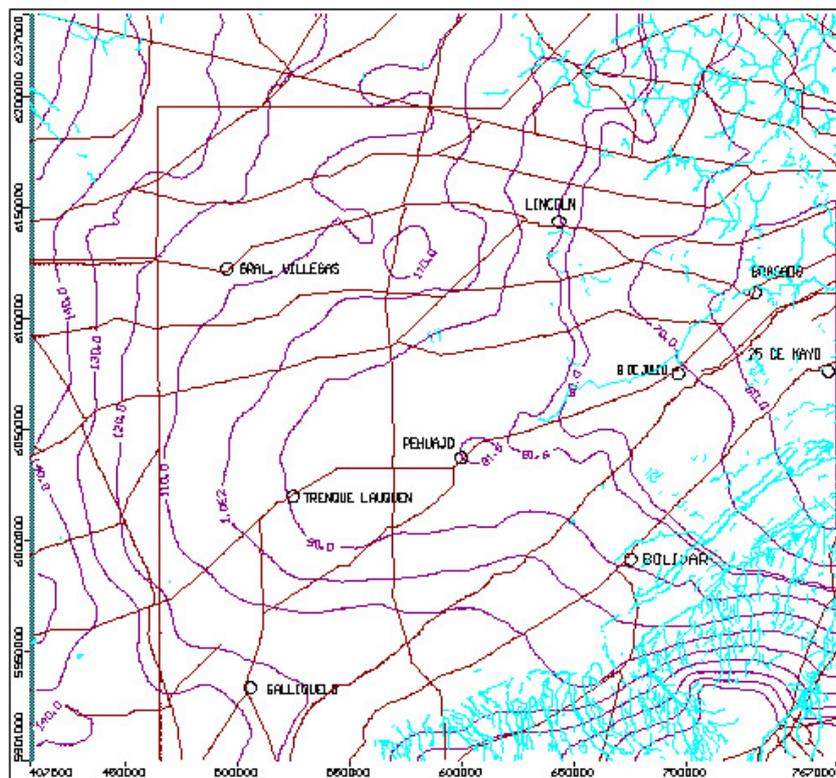


Figura 3.12 Dirección del flujo subterráneo ascendente mostrando los vectores detectados de la velocidad, notar que el factor de exageración vertical de la sección (con respecto a la horizontal) es de 5

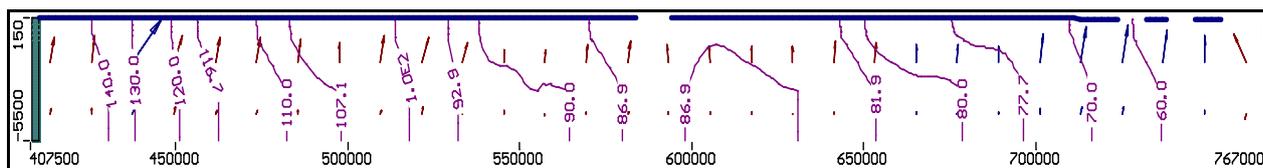


Figura 3.13 Distribución de la superficie freática inicial considerada para la modelación del flujo subterráneo y respuesta a diferentes entradas de agua para el área de estudio (1974)

3.4.3. Estudio del suelo y vegetación

Actividades de campo

Las principales *actividades de campo* incluyeron:

- i) descripción de horizontes, definición de la profundidad a la superficie freática.
- ii) muestreo de suelo y agua
- iii) descripción de la vegetación

3.4.3.1. Estudio del suelo

Descripción de horizontes y muestreo

Es sabido que la calidad del suelo o fertilidad edáfica, abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por lo cual a fin de establecer su fertilidad o calidad, todos los parámetros podrían ser medidos, sin embargo, no todos tienen la misma relevancia para todos los suelos y situaciones. Específicamente para el área del presente estudio, son los parámetros que definen la *fertilidad física y fisico-química, salinidad, alcalinidad, nivel de materia orgánica*, los que establecen las diferencias que se pretende establecer para cumplir con el objetivo de este punto. Estas variables, se vinculan además, con la posible degradación del suelo que se produce por efecto de inundaciones debido al exceso de agua de lluvia o por elevación de la superficie freática.

El objetivo parcial que se pretende responder con este punto, es caracterizar el tipo de suelo, su degradación antrópica y natural, y acciones posibles de su recuperación que consideren el paisaje.

En cada sitio de muestreo de agua correspondiente a la provincia de Buenos Aires (punto 3.4.2.1, Tabla 3.2) se efectuó una caracterización y muestreo de suelo.

Descripción del perfil edáfico, en la mayoría de los casos los horizontes del suelo se determinaron hasta la superficie freática; y en todos los casos se identificaron los primeros horizontes, siguiendo los criterios de Etchevereh (1976) e INTA (2000).

La toma de muestra de los dos primeros horizontes hasta una profundidad de 0.40m se realizó con pala, y luego con barreno a efecto de identificar la profundidad de la superficie freática (hasta aproximadamente 2m de profundidad, dependiendo del sitio).

Mediciones en laboratorio de suelos por procedimientos estándar (Back, 1965; Page *et al.*, 1982).

pH en pasta medido por método potenciométrico. El pH en pasta, utiliza una relación suelo: agua aproximada de 1:1, este procedimiento es recomendado en sitios con alto contenido de sales.

Conductividad eléctrica (CE), sobre extracto de suelo a saturación, con un conductímetro Conductronic C-18. La CE se utilizó para determinar el contenido de sales en el suelo, para lo cual el mismo es molido y tamizado (tamiz 2mm), se satura con agua destilada, y de la pasta resultante, mediante bomba de vacío se extrae una solución en la cual se mide la CE con un

conductivímetro ajustando la lectura a 25°C. Debido a las diferentes unidades de CE que se utilizan en la bibliografía, se destaca que las más utilizadas son: dS/m (deciSiemens por metro), mmhos/cm (milimhos por centímetro) y según los organismos de normalización europeos mS/m (miliSiemens por metro). Todas son equivalentes, es decir $1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ mS/m}$.

Materia orgánica se evalúa por el método de Walkey y Black con el procedimiento de combustión húmeda.

Sodio soluble es determinado en el extracto a saturación, por el método de fotometría de llama.

Calcio y Mg el contenido de estos elementos se determina en el extracto a saturación por volumetría, y uso de EDTA.

Relación de adsorción de sodio (RAS), se conoce a partir del valor obtenido de Na soluble, y de Ca y magnesio en el extracto de saturación.

A partir de la información del suelo, indicada precedentemente, y determinaciones de laboratorio y campo, se clasificaron los suelos en los sitios de muestreo del agua, mediante el criterio clasificatorio Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999).

3.4.3.2. Estudio de la vegetación

Tal como se indicó en el Capítulo 2, punto 2.1.4, la vegetación nativa sólo existe en aquellos suelos que no presentan aptitud de uso agropecuario, prácticamente en general, todos los ambientes se encuentran alterados por el hombre o por las inundaciones.

En general, por encima de la cota de 78m el suelo se halla laboreado, y con cultivo, y en los casos que se identifica vegetación espontánea corresponde a maleza (Bayón comunicación personal). Desde la incorporación en forma masiva en el país del cultivo de soya, en virtud de su alta rentabilidad y la capacidad de producirse en condiciones adversas para otros cultivos, tal como el maíz, hizo que se intentara su implantación incluso en bajos anegadizos. Se destaca que en algunas lagunas, como la de Cuero de Zorro y La Vidaña, tenían implantado el cultivo de soya a pocos metros de su margen. Por este motivo, los estudios clásicos de caracterización de la vegetación (abundancia y cobertura vegetal) tal como la clásica técnica de Braun-Blanquet (1979) que requiere de un terreno amplio, y la selección de sitios representativos, donde al azar se muestrea una superficie delimitada por un aro de madera de 1m^2 , no resultó factible implementarla en los sitios de muestreo de agua y suelo de la presente tesis, ya que estos se correspondieron en la gran mayoría de los casos, con sitios de cultivo. La excepción, fueron los sitios de algunas lagunas, donde la vegetación estuvo ausente o fue escasa y responde a condiciones muy locales ya sea por cambio introducido por el hombre, o por degradación edáfica al ampliarse la superficie con agua.

En el presente estudio, se hizo una evaluación cualitativa de la vegetación, estableciendo *especies presentes, grado de cobertura, y algunas propiedades asociadas que permiten definir el tipo de comunidad* presente tal como se describió en el Capítulo 2, punto 2.1.4 sobre la vegetación. En los casos con cultivo, que fueron la mayoría, se constató estado del cultivo.

Las *comunidades* vegetales, naturales o implantadas que se consideraron fueron las que a continuación se presentan en Oosterheld *et al.* (2005).

- *Pradera salada (Vervoorst, 1967) o Estepa halófila (Cabrera, 1978).*
- *Pradera húmeda*
- *Pradera mesófito*
- *Pradera polifíticas implantadas*
- *Cultivos implantados*

3.5. Análisis socio-económico

Los aspectos sociales fueron analizados a partir de la bibliografía (capítulo 2, punto 2.1.7), referentes del área, y productores visitados, indicados en el punto 3.2.1 del presente capítulo. De esto se realizó un diagnóstico, y a partir de allí, se infirió la factibilidad de la implementación de las prácticas que se estudiaron mediante diferentes técnicas de análisis económico, que son las que a continuación se describen, para las actividades evaluadas.

Las **actividades evaluadas** son las de *uso frecuente en la región, bajo esquemas tradicionales de producción*.

- Agricultura: trigo, maíz, soya, y girasol
- Ganadería bovina: cría, invernada y ciclo completo.

Se incorporan las siguientes actividades, que podría ser factible su implementación para las condiciones imperantes de sequía-inundación alternantes:

- Sistemas forestales con especies arbóreas nativas y exóticas
- Sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas y exóticas
- Piscicultura.

Respecto a los sistemas forestales y silvopastoreo, se tuvo como *objetivos específicos*: i) analizar la factibilidad técnica y económica de algunas especies de plantación forestal y sistemas silvopastoril en el noroeste bonaerense, afectado por sequía e inundación alternantes; ii) comparar especies nativas con especies exóticas más difundidas o mejor adaptadas en la región, y iii) comparar las especies seleccionadas respecto con las alternativas productivas agropecuarias tradicionales de la región.

Etapas para la definición de propuesta silvopastoril y forestal:

- ⇒ Revisión bibliográfica sobre las posibles especies arbóreas, en función de su *adaptabilidad* a las condiciones de suelo, agua, clima y ubicación respecto a los mercados del noroeste bonaerense, y según los *objetivos específicos* buscados con su implementación: beneficios ambiental, social y económico.
- ⇒ Definir las especies vegetales posibles
- ⇒ Selección *a priori* de las especies arbóreas más apropiadas para su análisis económico en función de los objetivos propuestos, y condiciones del ambiente.
- ⇒ Análisis económico respecto a diferentes rotaciones de actividades agrícola-ganaderas.

En la **elección de las especies** a incorporar en forestación y silvopastoreo en la región, es primordial considerar dos cuestiones principales: el sitio que ocuparan en el paisaje, y que se adapten a la situación alternante de sequía-inundación. Esto será definido a partir de los resultados obtenidos en punto 4 en relación con los sistemas de flujo de agua subterránea (zonas de recarga-tránsito-descarga), y del recorrido del flujo local, o intermedio, según Tóth (2000).

Especies adaptadas y propicias para el área del presente estudio

Las especies vegetales forestales promisorias para la actividad forestal y silvopastoril para el noroeste bonaerense, según antecedentes recabados de informantes calificados, y autores (Cozzo, 1975, 1995; Galetti, 2003; Esparrach, 2000; Lupi *et al.*, 2006) son las siguientes:

Árboles Exóticos: *Casuarina cunninghamiana*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus rudis*, *Eucalyptus umbellata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus viminalis*, *Fraxinus sp.*, *Ulmus sp.*, *Pinus halepensis*, *Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Pinus taeda* y *Pinus ponderosa*, *Salix nigra* 4, *Salix matsudana* x *Salix alba-clon 1,344*, 131-25, 131-2, 131-27.

Especies Nativas: *Acacia melanoxylon*, *Acacia Visco*, *Robinia pseudo-acacia*, *Prosopis alba*, *Prosopis caldenia*, *Prosopis Chilensis*, *Prosopis flexuosa*.

Suelos propuestos para su análisis económico

La elección de actividades por tipo de suelo se realizó considerando lo indicado en la Tabla 2.5 (capítulo 2). Se presenta aquí una extracción de dicha tabla (Tabla 3.3) con los suelos que a priori podrían seleccionarse para la implementación de sistemas silvopastoriles y forestación.

Tabla 3.3 Extracción de Tabla 2.5, Aptitud de uso del suelo en la región de estudio (MA, muy apto; A, apto; M, marginal; NA, no apto) (adaptada de PMI, 1999)

Suelo	Girasol	Maíz	Soya	Soya segunda	Trigo	Pasturas mezclas			CN	<i>Eucalyptus sp</i>		
						P1	P2	P3		EC	ET	EV
<i>Hapludol éntico</i>	M	M	M	M	M	M	M	A	MA	MA	MA	MA
<i>Udipsament típico</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	M	A	MA	MA	MA
<i>Haplustol éntico</i>	A	M	A	M	A	A	A	A	MA	MA	MA	MA
<i>Ustipsament típico</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M	M	A	MA	MA	MA
<i>Haplustol típico</i>	M	M	M	M	M	M	M	A	MA	MA	MA	MA
<i>Hapludol ácuico</i>	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
<i>Argiudol ácuico</i>	A	A	A	A	A	A	A	MA	MA	MA	A	M

Pastura: pastura 1 (P1) *Medicago sativa*; pastura 2 (P2) *Festuca sp* y *Trifolium sp*; pastura 3 (P3) *Thinopyron ponticum* y *Melilotus sp*; y pastizal natural (CN). *Especies de Eucalyptus:* *Eucalyptus camaldulensis* (EC); *Eucalyptus tereticornis* (ET); y *Eucalyptus viminalis* (EV).

Tal como se analiza en punto siguiente, se incluyen además: *Pinus taeda* y *Prosopis sp*.

Los suelos indicados en la Tabla 3.3, presentan diferente grado de restricción productiva en función principalmente del contenido de materia orgánica, arcilla, estructuración, textura, profundidad efectiva, retención hídrica, susceptibilidad a la erosión eólica y sequía. Las limitantes productivas comunes a todos estos son: escasos nutrientes, riesgo de erosión eólica, condición de humedad del perfil inadecuada por déficit o exceso.

Si bien, todos resultan aptos para el desarrollo forestal y silvopastoril, se eligieron para el presente análisis aquellos suelos que se indican como no aptos para agricultura tales como *Udipsament típico* y *Ustipsament típico* (Figura 4) (aptitud de uso VI-VIIes) y aquellos que tienen restricciones de uso para agricultura (marginales a aptos), principalmente en época seca, y de gran representación en la región: *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico* (aptitud de uso Iles a IVes) (Miaczinsky, 1961).

Tipos de especie vegetal propuestas para su análisis económico

Las especies elegidas surgen de la bibliografía citada, e informantes calificados de Argentina y Uruguay (cátedra Silvicultura). Se considera como factores de control a: temperatura, helada, lluvia, drenaje edáfico, profundidad de superficie freática, calidad del agua (tipo de sistema de flujo presente) y ubicación en el paisaje. Asimismo, se requiere de semilla de origen similar a las condiciones climáticas de la región estudiada, para garantizar sobrevivencia y rendimiento final. Así, la semilla de *E. tereticornis* y *E. camaldulensis*, debe provenir de una región fría y adaptadas a condiciones locales. En la Tabla 3.4 se resumen las principales características de las especies consideradas.

Tabla 3.4 Referente técnico y requerimiento edafo-climático de las especies. *Textura: F: franco; A: arenoso; FA: franco arenoso; a: arcilloso; Fa: franco arcilloso- CE: conductividad eléctrica. IMA: Incremento medio anual estimado- TC: Turno de corte en años*

Especie	Clima Temperatura Humedad	Drenaje	Ubicación topográfica	Textura - prof	pH	CE dS/m	IMA m ³ /ha/ año	TC
<i>Pinus taeda</i>	Plástico-Resiste frío- ETP media 0.5 m ³ /día	Resistente mal drenaje	Bajo-media loma	F >0,82 yds	4.5- 6.5	No calcáreo	18	25
<i>Eucalyptus viminalis</i>	Resiste frío, resiste sequías pero < que <i>E.C.</i>	Buen drenaje	Loma, > 0,75 m prof	A	< 8	< 4	18-20	13
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	No resiste fríos Requiere alta humedad	Imperfecto drenaje, no encharcables	Bajos a media loma-lig.ondulado	Fa - a > 1m	8.3	4	12	30
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	No tolera frío extremo. Resiste heladas y sequías	mal drenaje e inundación temporal	Bajos	a >0,75 m	> 8.8	> 8	12-15	25
<i>Prosopis flexuosa</i>	Asociado a la freática, muy resistente sequia y clima frío	Asociada a más humedad que <i>P.chilensis</i>	Variable	A	7.6-8.9	Salino degradado	13	≥30
<i>Prosopis chilensis</i>	Freatófito, con < 300 mm lluvia.	No tolera anegamiento	Variable	A o FA	7.6-8.9	Salino sódico degradado	13	≥30
<i>Prosopis caldenia</i>	Resistente a frío y sequía.	Tolerante	Bajos, depresiones	A o FA	7.6-8.9		13	≥30

Sistemas productivos utilizados en el análisis económico, y procedimiento de valoración

Sistemas agrícolas.- Se consideran condiciones productivas medias de la región de estudio, los *rendimientos* son los indicados en el PMI (1999) como valor promedio para los suelos descritos en la Tabla 2.10 (capítulo 2), ajustados tentativamente con base en resultados actuales por técnicas de manejo, y genética. En *suelos Haplustol y Hapludol éntico*, se consideró los siguientes rendimientos: maíz 5,000 - soya 2,000 - soya segunda 1,600 - trigo 2,600 - girasol 1,600kg/ha (a). Valores promedio para la región que incluyen los mejores suelos agrícolas en año húmedo son: maíz 7,700 - soya 2,800 - soya segunda 2,000 - trigo 2,900 - girasol 2,300kg/ha (b).

Actividad ganadera.- Se consideraron situaciones promedio de *cría, ciclo completo e invernada* para el área de estudio, criados en campo de forma extensiva, sobre pastura implantada, y en campo natural. *Cría:* producción de terneros hasta de 180kg, y de carne 150kg/ha/año. *Ciclo completo:* producción de terneros y engorde, 250kg/ha/año de carne. *Invernada,* engorde de terneros hasta 400kg, producción de carne 350kg/ha/año.

Sistema silvopastoril.- Sin suplementación en la dieta, y sobre pastizal natural bajo dosel arbóreo, se logran ganancias diarias de 0.4-0.5kg/animal (Fassola *et al.*, 2005). En superficies de plantación de 6x2m, los animales comienzan a pastorear cuando los árboles son de 3 años de edad (2.5-3m de altura) aproximadamente. Las especies evaluadas son: *Pinus taeda, Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus viminalis, Eucalyptus tereticornis,* y *Prosopis sp.* Se considera en forma genérica a las tres especies propuestas de *Prosopis* (Tabla 3.4) por no disponer de información de crecimiento para zonas equivalentes. Se calcula el costo de preparación, implantación, establecimiento y crecimiento de las especies forestales según Caro *et al.* (2005); Galetti (2003), y a recomendaciones de la cátedra de Silvicultura y de Gestión Forestal (Facultad Agronomía Montevideo).

Manejo ganadero y silvícola.- Para el caso del *Prosopis* se considera una mayor carga ganadera (1.3UG/ha) por el ramoneo (1UG/ha, unidad ganadera por hectárea). La ganancia diaria promedio es de 560g/día/UG.

Tabla 3.5 Supuestos de crecimiento y rendimiento de especies vegetales propuestas (*E. =Eucalyptus*)

Especie vegetal	IMA (m ³ /ha/año)	Turno (año)	Corta intermedia (m ³ /ha)	Turno final (m ³ /ha)	Aserrado 1º	Aserrado 2º	Leña	Picado-Celulosa
<i>Pinus taeda</i>	22	25	165	385	30%	20%	10%	40%
<i>E. viminalis</i>	19	13	74,1	173	--	50%	10%	40%
<i>E. tereticornis</i>	12	25	90	210	30%	20%	50%	--
<i>E.camaldulensis</i>	13,5	25	101	236	30%	20%	50%	--
<i>Prosopis sp.</i>	13	30	117	273	50%	30%	20%	--

En la Tabla 3.5, se presentan los **supuestos empleados** sobre las especies forestales, relativo al crecimiento en madera: incremento medio anual (IMA) para una corta intermedia comercial y diferente grado de aprovechamiento para la industria.

Los precios de insumos y productos de la actividad forestal y ganadera.- obtenidos de boletines Revista SAGPyA Forestal (2005, 2006), AACREA (2005, 2006, 2007). Coeficientes técnicos elaborados por los autores e informantes calificados, se resumen en la Tabla 3.6 y 3.7, respectivamente.

Tabla 3.6 Coeficientes y precios de plantación.

Opción Silvopastoreo	Año	Unidad	Cantidad	Precio unidad (US\$)	Precio (US\$/ha)
Barbecho químico	0	litro	3	5.5	16.5
Preparación terreno	0	hectárea	1	75	75
Abastecimiento plantas	1	plantín	800	0.12	96
Plantación	1	plantín	800	0.11	88
Fertilización	1	plantín	800	0.06	48
Reposición	2	plantín	160	0.16	25
Control de hormiga y roedores año 0	0	hectárea	1	40	40
Control de hormiga y roedores año 1	1	hectárea	1	20	20
Mantenimiento y Administración	1...n	hectárea	1	5	5

Tabla 3.7 Principales coeficientes ganaderos

	Ganadería (US\$)
Kg producido/animal	198
Gastos pastura	20
Suplementación	20
Mano de Obra	6
Sanidad	3
Compra animales	77
Gastos Comercialización	3
Valor Kg producido	0.3
Costo Kg producido	0.14
Margen Bruto/Kg producido	0.16
Margen Bruto /ha (1UG)	33
Margen Bruto /ha (1.3UG)	42

Preparación del terreno para establecimiento arbóreo.- se presenta para dos condiciones: a) *Con anegamiento*: laboreo con rastra excéntrica, camellones en el 37% de la superficie, y se dejan en barbecho 6 meses, luego barbecho químico con glifosato. b) *Sin anegamiento*, laboreo en franjas, barbecho químico y dos laboreos de rastra de tiro excéntrico. Se siguen curvas de nivel, y alternan franjas empastadas en zonas de confluencia de agua cada 6 a 8m. El costo del establecimiento de las especies arbóreas consideradas se da en la Tabla 3.8. De la Tabla 3.8 surge que el costo de laboreo con *camellones* es de USD75/ha.

Tabla 3.8 Costo de preparación de sitio para plantación de especies forestales.

	Tractor + rastra tiro excéntrico	Tractor + entaipadora	Tractor + pulverizadora
Capacidad de campo (ha/h)	3	2.2	26.3
Amortización (U\$/ha)	2.9	3.0	2.6
Interés (U\$/ha)	3.2	3.6	0.8
Mano de Obra (U\$/ha)	0.6	0.8	0.1
Combustible (U\$/ha)	4.5	6.0	0.1
Lubricante (U\$/ha)	0.8	1.1	0.1
Repuestos (U\$/ha)	2.7	3.9	0.3
Mantenimiento (U\$/ha)	2.1	2.6	0.2
Herbicida (U\$/ha)	--	--	16.5
Administración + Imprevistos	4.7	5.9	5.8
Costo	21.7	27.0	26.5

Tabla 3.9 Cálculo de precios de madera

	PRODUCTO				
	Aserrado 1º	Aserrado 2º	Leña	Tableros Partícula	Celulosa
Distancia a mercado (km)	60	60	40	170	170
Precio en destino (US\$m ³)	26	22	15	20	22
Costo Cosecha(US\$m ³)	8,5	8,5	4,5	7,5	7,5
Costo Flete (US\$m ³)	6	6	4	13,6	13,6
Precio en pié (US\$m ³)	11,5	7,5	6,5	-1,1	0,9

En esta etapa del trabajo no se consideró el subsidio a la forestación si bien a partir de la promulgación de la Ley N° 25.080 y la Resolución 75/2007, se establece apoyo económico no reintegrable para a la plantación y manejo silvicultural de poda y raleo.

Evaluación económica de sistemas productivos

Los sistemas a comparar presentan retornos económicos en diferente tiempo: la agricultura tiene base anual, la ganadería base plurianual con ciclos de corto a mediano plazo, y los sistemas de silvopastoreo son de largo plazo. Por lo tanto, a fin de efectuar comparaciones entre sistemas productivos se transformaron los *retornos económicos a una base de comparación anual*.

Se elaboró un **flujo de fondo financiero** para un período de 30 años, ajustados a las características productivas de las actividades involucradas. Así, se elaboran márgenes brutos de las actividades ganadera y agrícola, así como los egresos e ingresos que se generan de la actividad forestal.

Los **márgenes brutos de las actividades agrícola-ganaderas**, se calcularon para sistemas productivos medios de la región, y ajustadas al tipo de suelo. A partir de éstos se calculó el **Valor Actual Neto (VAN)** de las rotaciones y se llevó a una base anual tanto para los lotes de 100ha donde una u otra actividad está presente cada año dentro del mismo lote, y en establecimientos de 400ha, donde la rotación se distribuye en los 10 años que dura dicha rotación en 240ha agrícolas y 160ha ganaderas, debido a que son unidades productivas representativas de la región del noroeste Bonaerense.

Se presenta a continuación un ejemplo de planilla Excel elaborada para calcular el VAN de las rotaciones de actividades agrícola-ganaderas, y otra donde se incorpora además la forestación y sistema silvopastoril (Figura 3.14).

Estas planillas fueron realizadas con la colaboración Ing. Agr. MSc Raúl Rosa, Profesor Administración Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina (Figura

3.14a) y modificada por Ing Agr MSc Adriana Bussoni, Profesora de Economía y Administración, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, y profesora de Gestión Forestal, Departamento de Ciencias Sociales. Facultad de Agronomía. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay (Figura 3.14b).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Años	1	2	3	4	5	6	7	8
3		Ingresar Rotacion Agricultura	10	2	4	1	2	8	8	8
4		Ingresar Rotacion Ganaderia	9	9	9	9	9	7	7	7
5		Agricultura	Otra	Trigo	Soja	Maiz	Trigo	Cero A	Cero A	Cero A
6		Ganaderia	Cero G	Cero G	Cero G	Cero G	Cero G	CC	CC	CC
7										
8		Margen Bruto Anual Total (\$)	100,000	39,850	76,256	68,275	39,850	24,589	24,589	24,589
9										
10										
11		VAN	\$ 706,559							
12		Tasa de descuento	5.0%							
13										
14		Número a ingresar	Detalle							
15		1	Maiz							
16		2	Trigo							
17		3	Girasol							
18		4	Soja							
19		5	Cria							
20		6	Invernada							
21		7	CC							
22		8	Cero A							
23		9	Cero G							
24		10	Otra Agricultura							

a)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Años	1	2	3	4	5	6	7	8
3		Ingresar Rotacion Agricultura	10	2	4	1	2	8	8	8
4		Ingresar Rotacion Ganaderia	9	9	9	9	9	7	7	7
5		Agricultura	Otra	Trigo	Soja	Maiz	Trigo	Cero A	Cero A	Cero A
6		Ganaderia	Cero G	Cero G	Cero G	Cero G	Cero G	CC	CC	CC
7										
8		Margen Bruto Anual Total (\$)	100,000	39,850	76,256	68,275	39,850	24,589	24,589	24,589
9										
10										
11		VAN	\$ 706,559							
12		Tasa de descuento	5.0%							
13										
14		Número a ingresar	Detalle							
15		1	Maiz							
16		2	Trigo							
17		3	Girasol							
18		4	Soja							
19		5	Cria							
20		6	Invernada							
21		7	CC							
22		8	Cero A							
23		9	Cero G							
24		10	Otra Agricultura							

b)

Figura 3.14 Ejemplo de planilla elaborada en programa Excel para calcular los VAN de las rotaciones de actividades agricola-ganaderas (a), y otra donde se incorpora además las forestación y sistema silvopastoril (b)

Los sistemas productivos silvopastoriles se evalúan utilizando los siguientes **indicadores económico-financieros**:

Valor Actual Forestación (VAF), Valor Actual Ganadero (VAG), Renta Ganadera (RG), Renta forestal (RF), y Renta de silvopastoreo (RS)

Se calculan con las ecuaciones siguientes:

Con base en el margen bruto ganadero del sistema silvopastoril, calculado en Tabla 3.7, se actualiza desde el tercer año hasta el final del periodo considerado, mediante la Ecuación 1, el **Valor Actual Ganadero (VAG)**; donde: MB_g , margen bruto ganadero calculado en 43U\$/ha para *Prosopis* sp., y 33 U\$/ha para el resto de las especies forestales; n , periodo de tiempo en años; t , último año del flujo de fondos; i , tasa de descuento del 5%.

$$VAG = \sum_{n=3}^t MB_g (1+i)^n \quad \text{ecuación 1}$$

El valor obtenido en la ecuación 1, se lleva a una base anual, **Renta Ganadera (RG)**, empleando la ecuación 2.

$$RG = VAG \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{ecuación 2}$$

Asimismo, se calcula el **Valor Actual Forestal (VAF)**, el que se obtiene de actualizar los flujos de fondo neto derivados de dicha actividad, calculando así la **Renta Forestal (RF)**, mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$VAF = \sum_{n=0}^t \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad \text{ecuación 3}$$

$$RF = VAF \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{ecuación 4}$$

donde F_n , flujo neto anual de la actividad

Sobre los valores obtenidos, se calculo la **renta de silvopastoreo (RS)** deducida de la **renta ganadera (RG)** y la **renta forestal (RF)** todos con base anual:

$$RS = RF + RG$$

Comparación efectuada, sistema silvopastoreo vs sistema productivo real.

En todos los casos, se considera un período de 30 años y rotaciones de 10 años. Utilizando planillas Excel y aplicando procedimientos indicados en el punto anterior, se calcula para lotes de 100ha, y en establecimiento de 400ha con planteos productivos que constan de 240ha agrícolas y 160ha ganaderas).

Las situaciones que se comparan son las siguientes:

Situación 1: Ganadería de cría en campo natural o *Eragrostis curvula*. Suelos *Udipsament* y *Ustipsament típico* (VI-VIIes), en 100ha.

Situación 2: Ganadería de invernada en pradera de *Medicago sativa*, *Festuca* sp; *Dactylis glomerata*, *Bromus unioloides*, y *Trifolium album*. Suelo *Haplustol éntico* y *Hapludol éntico* (Iles a IVes), en 100ha.

Situación 3-1: En suelo igual que en la situación 2, en 100ha, se alterna sistema agropecuario, con rotaciones de 4 años de agricultura y 6 años de pradera. *Rotación de cultivos:* girasol-maíz-girasol-trigo, y ganadería (cría, ciclo completo o invernada).

Situación 3-2: Igual situación 3-1 pero en establecimiento tipo de la región de 400ha.

Situación 4-1: rotaciones de 3 años de agricultura y 7 años de pradera, *idem* a suelos anteriores. *Rotación de cultivo:* girasol-soya-trigo, y ganadería (cría, ciclo completo o invernada) en 100ha.

Situación 4-2: Igual situación 4-1, pero en establecimiento tipo de la región de 400ha

Situación 5-1: Rotación maíz-trigo/soya 2^{da}- girasol-maíz-trigo/soya 2^{da}-girasol, 6 años de ganadería (cría, ciclo completo o invernada), igual suelo que anteriores, y en 100ha (trigo/soya 2^{da}: producción de dos cultivos en un ciclo, la soya se siembra tardíamente)

Situación 5-2: Igual situación 5-1, pero en establecimiento tipo de la región de 400ha

Situación 6-1: Rotación de cultivo: soya-trigo-soya-maíz-soya-girasol, y 4 años campo natural con cría, en igual suelo que anteriores, en 100ha.

Situación 6-2: Igual situación 6-1, pero en establecimiento tipo de la región de 400ha.

En 6-1 y 6-2 se considera el rendimiento del suelo, tal como se hizo hasta aquí (a); y con rendimiento promedio de la región como situación de máxima (b).

3.6. Criterios de interpretación e integración de variables

Como se indicó en punto 2.4.4. a través de la geografía física, es posible definir las prácticas de manejo de suelo para uso agropecuario y forestal en forma sustentable, a partir de la comprensión del *paisaje*. Siendo el paisaje la unidad ecológica superior al ecosistema, un sistema socio-económico que acciona sobre el ambiente. En el noroeste bonaerense, se parte de comprender dicho paisaje, a fin de incidir favorablemente en las alternantes inundaciones y sequías que se presentan en la región desde que se tiene registro histórico.

En punto 2.4.5. se presentaron los antecedentes sobre los procedimientos que la bibliografía señala a fin de integrar los elementos del paisaje: naturales y transformaciones producidas por la actividad humana, de los cuales surge que no existe una metodología que permite efectuar lo requerido para la presente tesis, ya que se requiere integrar los *elementos del paisaje pero considerando los procesos* que definen el funcionamiento del sistema.

En este punto se efectúa entonces, una secuencia de análisis lógico que partiendo de la definición de cada uno de los elementos naturales estudiados, y procesos implicados en las inundaciones, permita proponer propuestas que contemplen, disposiciones y reglamentaciones legales, beneficio económico y ambiental para el noroeste bonaerense.

Se *requiere* entonces, llegar a definir y considerar para el área de estudio:

- ⇒ el origen u orígenes más probables de las inundaciones, partiendo de la comprensión de las relaciones clima – suelo superficial – subsuelo – agua subterránea – uso del suelo, debido a que en conjunto definen el sistema hidrológico.
- ⇒ que las actividades deben considerar el manejo del suelo a fin de obtener el máximo de su función productiva, biosférica (fertilidad), hidrosférica (ciclo hidrológico), atmosférica (efecto invernadero), y como una geo-membrana receptora de flujo de materia, energía e intercambio con otros subsistemas.
- ⇒ que el beneficiario de las acciones debe ser la sociedad en su conjunto.

A partir de lo indicado en *punto 2.4.1*, sobre los principios básicos del uso de los sistemas de flujo en la comprensión del funcionamiento hidrogeológico, y en *punto 2.4.2.*, sobre los fundamentos de sistemas de flujo y el funcionamiento hidrogeológico, queda claramente establecida la relación entre ecosistemas y agua subterránea (punto

2.4.3), y como los sistemas de flujo permiten lograr la comprensión hidrológica en el estudio del paisaje (punto 2.4.4) de la presente tesis.

Se considera entonces, que la **aplicación de los sistemas de flujo** son la herramienta que permite estudiar el paisaje en sus aspectos técnico-ambientales, y a partir de esto, posibilitar un desarrollo socio-económico con sistemas productivos sostenibles.

Se parte de definir cada uno de los *elementos que integran el paisaje*, y sus relaciones básicas naturales considerando *procesos*, y como estas intervienen con la sociedad del noroeste bonaerense. Consecuentemente, en este punto, se analizan e interpretan los aspectos hasta aquí estudiados en forma conjunta, a fin de intervenir en el paisaje y coadyuvar con las inundaciones y sequías.

Las etapas en que esto se realiza es la siguiente:

- i) **interpretar y concluir sobre los elementos del paisaje, naturales y antrópicos recopilados y obtenidos** en punto 3.2. a 3.5 (clima, imágenes satelitales, suelo, agua superficial y subterránea, y vegetación) en relación a su incidencia en la magnitud de las inundaciones,
- ii) **establecer la relación vegetación-suelo-agua subterránea como un criterio clasificador del paisaje** mediante la aplicación de los criterios y principios postulados en 2.4, para el procesamiento de la información obtenida en punto anterior. Esto es definir el funcionamiento del agua subterránea, zonas de recarga y descarga como zonas que se complementan entre sí en su funcionamiento químico, hidráulico, biológico, geomorfológico, edáfico dentro de un paisaje, para la elección de prácticas de manejo del suelo que coadyuven al control de la inundación.
- iii) **definición de alternativas productivas técnica-económica y ambientalmente factibles para la sociedad del noroeste bonaerense** según lo indicado en punto 2.1.7. referido a las características socio-económica (actividades productivas imperantes en la región, estructura y organización de empresas agropecuarias, implicancias socio-económicas de las inundaciones, sistemas productivos, potencialidades y limitaciones al desarrollo regional).

En síntesis, partiendo de conocer y definir los elementos que integran el paisaje, *estructura natural*, las relaciones que permiten comprender el funcionamiento hidrológico de la región, así como los elementos de la *estructura socioeconómica*, se proponen medidas de uso del suelo agropecuario y forestal, que posibiliten la recuperación de un suelo degradado como consecuencia de una inundación o que coadyuven con las alternantes sequías e inundaciones.

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evolución de componentes del Clima

Tal como se indicó en materiales y métodos (punto 3.1), el trabajo de la presente tesis se realizó en dos escalas de análisis: local, en la provincia de Buenos Aires (Figura 2.3 y 2.5) y regional que incluye desde la vecindad de la provincia de Mendoza al oeste, colindando con la Cordillera de los Andes hasta Buenos Aires.

En este punto, a fin de analizar la posible influencia de la precipitación de otras áreas del país vinculadas con la región de estudio, se analizaron según procedimientos indicados en materiales y métodos, información de otras localidades de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe, sur de Córdoba, San Luis, Mendoza, y Anguil en La Pampa.

Los puntos aquí analizados se indican a continuación:

- *Calidad de la información obtenida en el país sobre el clima*
- *Ambientes provinciales con posible influencia en el área de estudio*
- *Caracterización climática regional*
- *Resultados de la bibliografía y elaborados en la presente tesis, de provincias entre Buenos Aires y Cordillera de los Andes, y del área de estudio en el noroeste bonaerense:*
 - 1) *Provincias entre Buenos Aires y Cordillera de los Andes:* provincias de Mendoza, San Luis, La Pampa, Córdoba, Santa Fe. De cada una de estas, lo informado y elaborado, se centra en los sitios que a priori tendrían incidencia en el noroeste bonaerense.
 - 2) *Provincia de Buenos Aires,* partidos ubicados *aguas arriba del área de estudio.*
 - 3) *Provincia de Buenos Aires,* localidades de *Pehuajó y Trenque Lauquen.*

Calidad de la información obtenida en el país sobre el clima.

Tal como se indica en diversas publicaciones citadas en punto 2.1.5.4 y Anexo A-3 referido al “*cambio climático y variabilidad del clima*”, resulta grave la falta de información completa y confiable en el país. Así por ejemplo, son varios los aspectos a considerar respecto a la veracidad de la información climática asequible, entre los que se destaca: cantidad y ubicación de los sitios de registro, procedimientos y frecuencia de las mediciones.

En general, la información de precipitación es muy dispar según el sitio considerado, abarca periodos variables, alternos, o incompletos. Asimismo, son pocos los sitios donde se registra la evolución de la temperatura, evapotranspiración potencial, y otras variables asociadas, y los procedimientos para su medición no son claramente establecidos, tal como sucede con la evapotranspiración potencial.

De lo indicado precedentemente, del punto 2.1.5.4, se presenta sintéticamente lo siguiente, que fueron todos aspectos confirmados al recopilar información climática para elaborar la presente tesis:

- i) *ubicación de las estaciones meteorológicas en las grandes ciudades que han pasado de estar en la periferia de la ciudad, al centro de ésta, el efecto de isla urbana influye en el aumento de temperatura observada;*
- ii) *la disminución del número de estaciones meteorológicas que en Argentina ha sido drástica. Se destaca que en general en los últimos años, las estaciones experimentales del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) regionales y locales (a nivel partido), realizan el seguimiento de la precipitación y otras variables del ambiente asociadas al problema de inundaciones y sequía, cuya información es en general de fácil acceso al público en general.*

Este no es el caso del Servicio Meteorológico Nacional Argentino, que desde hace unos años cobra por suministrar la información histórica, y sólo la información reciente puede consultarse por Internet.

- iii) respecto al *procedimiento en la obtención de la información se destaca lo indicado por Etcheverría y Giulietti en (Etcheverría et al., 2006) quienes recurren a procedimientos estadísticos y matemáticos para establecer las isohietas de San Luis, y precipitación media probable, debido a la información incompleta que disponían.*
- iv) *Sobre la evapotranspiración potencial, con frecuencia no se define el procedimiento que se ha utilizado para su medición, ni siquiera donde ha sido medido. Los valores son mencionados, en una y otra publicación, sin poderse especificar la fuente, tal como sucede en esta tesis. Sin embargo, siendo esta la información que se maneja, y ha sido facilitada por organismos públicos, e incluso es sobre la cual se indican algunas de las conclusiones sobre las inundaciones, se consideró adecuado incluir estos valores a modo de referencia. Uno de los procedimientos que se indica es el uso de la fórmula de Penman. Para su aplicación se usa datos de temperatura media, heliofanía efectiva, viento acumulado diario y humedad relativa ambiente (Borda, 2001).*

Esta situación muy posiblemente para Argentina cambie al haberse establecido como rutina, la medición mediante satélites de baja resolución espacial del **índice verde normalizado, y temperaturas** en forma diaria por el Instituto de Clima, y Agua del INTA Castelar, Buenos Aires (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

Se describe brevemente el *procedimiento*: los satélites de la serie NOAA-AVHRR son captados por la antena de recepción instalada en el Instituto de Agua y Clima del INTA Castelar, Buenos Aires, y procesada diariamente, mediante una serie de rutinas automáticas de procesamiento que permiten elaborar mapas diarios de índice verde normalizado (IVN), temperatura de superficie (TS), temperatura de nubes y fuego. Semanalmente, son seleccionadas las mejores imágenes de IVN y TS que darán origen al mapa de evapotranspiración potencial real utilizando un algoritmo ($ETR = -88.34 + 1.77 * TS + 286.4 * IVN$) desarrollado por Di Bella et al. (2000).

Las imágenes de referencia se encuentran asequibles en internet desde el año 2000 (<http://www.evapotranspiracion.org.ar/catalogo/catalogo.htm>).

Sin embargo, dos elementos principales no permiten aun aprovechar esta información plenamente. Por un lado, el período de estudio de esta tesis debe incluir principalmente, años previos a las inundaciones, y por otra parte, estas promisorias metodologías de análisis aún requieren de su acercamiento real a la comunidad, ya que si bien estas imágenes están asequibles requieren de un procesamiento, interpretación, y ajuste en el sitio. De hecho, sólo desde 2006, este instituto coadyuva con el Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires, en la detección de problemas ambientales, sequías principalmente.

Ambientes provinciales con posible influencia en el área de estudio

Los sitios considerados para su análisis, tal como se aprecia en Figura 2.3, y Figura 2.5, presentan una secuencia en alturas, y tipos que ambientes. Esta secuencia en alturas y ambientes, que inicia en la cordillera y termina en el océano Atlántico, supone la ubicación de la zona de recarga regional en los sitios más altos de la Provincia de Mendoza, con zona de descarga regional, más allá de la provincia de Buenos Aires, en el Océano Atlántico. Tal como se indicó al describir la región de estudio, en la Figura 3.1, se presenta el recorrido principal efectuado y analizado, entre las ciudad de Mendoza en la provincia de Mendoza, y Carlos Casares en Buenos Aires. La distancia entre ambas ciudades es de 885km.

En punto 2.2., al analizar el origen de las inundaciones, se indicó que el área de estudio (centrado en el noroeste bonaerense, en las localidades de Pehuajó y Trenque Lauquen), se

encuentra ubicada al sur de una gran región denominada *Pampa Central Oeste* o más conocida como *área de derrame del Río Quinto y arroyos del sur de Córdoba*, que es en su mayor parte una superficie típica de llanura, cuya pendiente regional principal es NO-SE, con distintos ambientes hidrológicos y valor disímil de precipitación, por lo cual, presenta diferente mecánica en la evacuación de excedentes pluviométricos. Abarca sectores de las provincias de San Luis, Córdoba, La Pampa, Santa Fe, y Buenos Aires (Figura 2.3 y 2.5).

Asimismo, en punto 1.1. (*Características del área de estudio*), se cita al PMI(1999) quien indica que el noroeste bonaerense, que ha sido integrado en forma artificial por medio canales a la Cuenca del Río Salado, puede recibir aportes de agua desde otras provincias (Figura 2.3), tal como, el aporte potencial desde la Laguna La Picasa en Santa Fe, y Río Quinto en San Luis y Córdoba (Figura 2.39), donde también se ha efectuado construcción de canales que conectan bajos entre estas provincias (Obra Cuenca la Picasa, que involucra cuatro provincias en el referente del Plan Federal de Control de Inundaciones-Área Pampeana Central).

Caracterización climática regional

En el punto 2.1.5.1 a fin de caracterizar climáticamente la región se presentaron diferentes criterios, según fuente bibliográfica. Estos se pueden apreciar en las siguientes figuras: Figura 2.35, Atlas bio-climático de la Argentina (Czajkowski y Gómez, 2006) indica que la región del presente estudio, se ubica junto con el sur de Santa Fe, centro y sur de Córdoba, casi íntegramente San Luis, y este de Mendoza, en la región bio-climática IIIa, *templado cálida seca*. En la Figura 2.36, se presenta el mapa de precipitación media de la Argentina. En la Figura 2.37, el mapa de las temperaturas medias, corrientes oceánicas, y vientos (Naumann y Madariaga, 2003). Toda la provincia de Buenos Aires, junto a todas las provincias del centro y noroeste del país, se ubican en el ámbito comprendido entre un mínimo de temperatura media anual de 10°C al sur, y 20°C, al norte. Los vientos que llegan a la provincia de Buenos Aires, son los cálidos del norte o viento tropical, y el viento frío, denominado Pampero, proveniente de la Cordillera de los Andes.

Resultados de la bibliografía y elaborados en la presente tesis, de provincias entre Buenos Aires y Cordillera de los Andes, y área de estudio

A continuación se describe la información climática recopilada en la bibliografía y elaborada a partir de la información obtenida para la presente tesis, tal como se indica en materiales y métodos, para los siguientes sitios y se reiteró al principio de este apartado.

4.1.1 Provincias entre Buenos Aires y Cordillera de los Andes

4.1.1.1 Provincia de Mendoza

La provincia de Mendoza está ubicada en el occidente de la República Argentina, a sotavento de la Cordillera de Los Andes y se extiende de norte a sur entre 32° y 37,5°S; y de oeste a este entre 66,5° y 70°O. En estas latitudes la cordillera presenta una altura media entre 3500 y 4000msnm, y presenta tres cadenas principales orientadas longitudinalmente que de oeste a este son: la Cordillera del Límite, la Cordillera Frontal, y la precordillera (Norte *et al.*, 1998). En relación con el clima, este autor indica que por la clasificación climática de Koëppen la provincia de Mendoza presenta cinco regiones climáticas: *clima seco de estepa, desértico, y climas polares de tundra, tundra de altura, y hielos eternos*. Prevalece en la mayor parte de la provincia, *el clima seco de estepa y el desértico*, y en la región cordillerana el clima es de tipo polar con variantes según la altura, existiendo zonas de clima polar helado o de hielos eternos en los lugares por encima de donde la isoterma de 0°C (temperatura media del mes de enero).

En el Anexo B-1.1, se presenta en la Tabla B1 la precipitación ocurridas entre los años 1927 y 2006 en San Rafael, Mendoza (valores medidos por INTA Rama Caída). A partir de estos

valores, analizados según se indicó en materiales y métodos, se obtuvo lo que a continuación se describe.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1927 y 2006, los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos o lluviosos*, y *muy húmedos o muy lluviosos*, tal como se presenta en Tabla 4.1 y Figura 4.1. Tal como se indica en materiales y métodos, los números asignados por el tipo de año son: años lluviosos en extremo, 3; muy lluviosos, 2; lluviosos, 1; normales, 0; secos -1; muy seco -2; secos en extremo, -3

Tabla 4.1 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías, entre 1927 a 2006 de San Rafael, Mendoza

año	clasificación	año	clasificación	año	clasificación	año	clasificación	año	clasificación
1927	seco	1943	muy lluvioso	1959	muy lluvioso	1975	lluvioso extremo	1991	lluvioso
1928	normal	1944	muy lluvioso	1960	muy lluvioso	1976	seco	1992	muy lluvioso
1929	seco extremo	1945	seco	1961	seco	1977	seco	1993	lluvioso
1930	muy lluvioso	1946	lluvioso	1962	normal	1978	normal	1994	muy lluvioso
1931	seco	1947	muy seco	1963	muy lluvioso	1979	lluvioso	1995	seco
1932	muy seco	1948	normal	1964	normal	1980	seco	1996	muy lluvioso
1933	muy seco	1949	lluvioso	1965	seco	1981	seco	1997	lluvioso
1934	normal	1950	seco	1966	normal	1982	muy lluvioso	1998	muy lluvioso
1935	muy seco	1951	seco	1967	seco	1983	normal	1999	lluvioso extremo
1936	normal	1952	lluvioso	1968	muy seco	1984	lluvioso extremo	2000	normal
1937	seco extremo	1953	seco	1969	muy seco	1985	normal	2001	lluvioso extremo
1938	seco	1954	seco	1970	muy seco	1986	muy seco	2002	normal
1939	seco	1955	muy lluvioso	1971	seco extremo	1987	normal	2003	muy seco
1940	lluvioso	1956	lluvioso extremo	1972	muy lluvioso	1988	seco	2004	lluvioso
1941	lluvioso	1957	muy lluvioso	1973	muy lluvioso	1989	seco	2005	normal
1942	lluvioso	1958	normal	1974	lluvioso	1990	lluvioso		

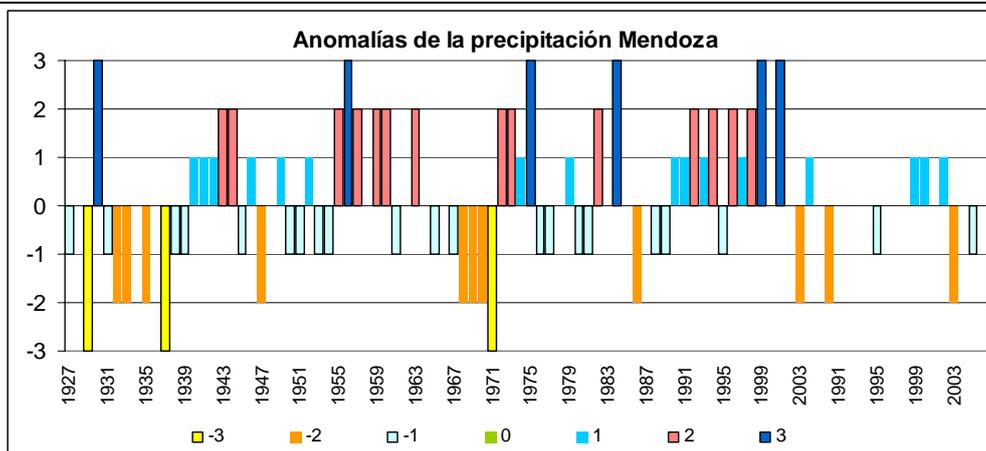


Figura 4.1 Clasificación de precipitaciones por criterio de anomalías, periodo 1927 y 2006, San Rafael, Mendoza (INTA Rama Caída, San Rafael)

Equivalencias: Años lluvioso en extremo, 3; Muy lluvioso, 2; Lluvioso, 1; Normal, 0; Seco -1; Muy seco -2; Secos en extremo, -3.

Se aprecia que en el periodo considerado de 79 años, se produjeron en forma alterna años secos, y muy secos en un total de 32 años, y húmedos a muy húmedos en un total de 41, considerándose normales solo 6 años. El promedio de precipitación es para todos los meses bajo, así como el promedio general del período analizado que es de 282.7mm que define un

clima árido. Es destacable, la alta variabilidad entre años incluso consecutivos, así por ejemplo se destaca para 1929 un mínimo de 97mm, y en 1930 aumenta a 511mm, igualmente esto se aprecia entre los años 1971 con 69,3mm, y 1972 con 459mm. No obstante prevalece la ocurrencia de varios años secos, o húmedos consecutivos. Así por ejemplo, se dan cuatro años húmedos o muy húmedos, entre los siguientes años: 1940-1944, 1946 -1949, 1955-1957, 1960-1964, y 1972-1975, luego años intercalados en la década de 1980, y a partir de 1990 hasta 1994, y de 1996 al 2001, y por último en 2004.

Sin embargo, otros aspectos son también importantes en la provincia a fin de definir su comportamiento hidrometeorológico, por lo cual se presentan los resultados de otros trabajos que además incorporan el **caudal de ríos** vinculado a las nevadas que se producen en las zonas cordilleranas y condiciones térmicas asociados a la ocurrencia de los eventos EL Niño (ENSO). Es pertinente aquí, indicar brevemente el **concepto del El Niño, y como éste influye a nivel mundial**, a fin de analizar como esto ha influido según diferentes autores en la provincia de Mendoza. En el Anexo B-1.2.se describe el fenómeno a nivel mundial.

Influencia del ENSO en la precipitación, nevadas, y caudal de los ríos en Mendoza ***Variabilidad climática histórica en la Argentina, Mendoza***

Prieto y Herrera (2002) analizan la variabilidad climática histórica del clima de la Argentina, mediante el uso de registros históricos, y de los registros fenológicos de los cultivos de vid y trigo (cambios en la cosecha, siembra, otros) a fin de establecer variaciones estacionales. Encuentran que el clima para el centro oeste del país en el siglo XVII fue relativamente estable con baja proporción de eventos climáticos extremos. Así para Mendoza indican condiciones de humedad desde 1640-1691 y sequías severas 1626, 1627 y 1694, 1698. Asimismo encuentran que hubo un período más frío en aquel tiempo, registrándose además, adelanto de las heladas. También se produjo escasa precipitación, en Mendoza en los años 1715, 1736-1751 y desde 1780-1800; existiendo un período de abundante precipitación en 1750 y 1785.

Esta tendencia indicada para Mendoza, es también reportada para la región pampeana en iguales años. Igualmente, Córdoba pasa por grandes sequías a principio del siglo XVII hasta aproximadamente 1750, para comenzar con lluvias entre 1750 hasta 1785, donde comienza otra sequía severa. Para 1770-1803, indica también para Buenos Aires procesos semejantes a lo indicado para Córdoba.

El siglo XVIII hay oscilaciones extremas tanto de sequías como de inundaciones con una amplia variación espacial. A comienzos de 1800 hasta aproximadamente 1805, se dan sequías extremas en Argentina y Bolivia, que llegan a paralizar hasta las actividades mineras de Potosí (la mayor parte de la plata que salió de América hacia España fue extraída de Potosí por el trabajo de los pueblos nativos aborígenes). Simultáneamente a las sequías de los Andes, se dan en el Atlántico, en la Cuenca del Plata años húmedos e inundaciones (1780-1810). Así, se registran inundaciones en 1680-1710, 1740-1770 y 1790-1810.

En épocas recientes, 1895-1996, estos autores, indican que la zona andina, entre Chile y Argentina, cuenta con pocos registros de precipitación e incluyen entonces el análisis de las grandes nevadas que alimentan los ríos. Se encuentran variaciones muy importantes entre la fecha de la primera nevada y la última, así como la duración de la temporada. Existe además una gran variación en el número de nevazones, destacándose como máximos los años 1898, 1912, 1930, 1972 y 1982. Por el contrario, años con escasa nieve fueron 1889, 1892/93, 1908, 1916/17, 1924, 1938, 1945, 1951, 1957, 1964 y 1966.

Respecto a las crecidas y disminución de caudal del Río Mendoza, también encuentran estos autores importantes diferencias a lo largo de los años mencionados. Destacan la existencia de dos períodos marcados de fuertes contrastes climáticos: segunda mitad del siglo XVII y primera

mitad del siglo XX. Correlacionan estos eventos de máximas crecidas y máximas nevadas con el fenómeno ENSO (El Niño), y encuentran una asociación importante, en un 69.5% de los casos. Encuentran que el incremento de las nevadas y posterior caudal mayor se vinculan al evento del Niño. Los periodos más secos, se asocian a épocas frías (pequeña edad glacial), y con una menor frecuencia del fenómeno del Niño.

Variabilidad climática reciente

Para la provincia de Mendoza, *Norte et al.* (2006) describe la precipitación para el período 1972-1997 en las tres cadenas montañosas principales y en el llano: *Cordillera del Limite* con máximos de precipitación en el invierno (máximo en 94mm en junio para el periodo 1964-1976), *Cordillera Central* con una distribución bimodal (otoño, con un máximo en el mes de febrero de 61mm, y primavera, con un máximo en el mes de noviembre de 42mm, para el período 1971-1997) y la *Precordillera* y el *Llano*, con máximo de precipitación estival (meses de enero y febrero 31-32mm, respectivamente para el período 1961-1980).

Asimismo, estos autores, analizan los caudales mensuales del Río Mendoza en todo su curso en el periodo 1957-1997, en relación con los eventos cálidos ENSO haciendo énfasis en los casos de 1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, y las primeras manifestaciones del caso de 1997, con la precipitación de la Cordillera Frontal (estación Las Aguaditas, 33,05°S- 69,17°O, 2,225msnm). Se destaca que el Río Mendoza, suministra agua para riego, consumo y energía hidroeléctrica a uno de los núcleos poblacionales más importantes de la región. Se encuentran incrementos sustanciales del caudal en el período estival resultando del exceso de precipitación invernal producido por el correspondiente evento cálido ENSO (El Niño).

Como caudal máximo de la serie, se destaca el valor asociado al primer año del evento cálido de 1982-1983 considerado (hasta 1997-98) como el más intenso del siglo. Indica que el principal impacto en el régimen hídrico está dado por el aumento de caudal producido por la anomalía positiva de precipitación invernal, que se dan en la cordillera por cambios en la presión. Asimismo, encuentran una mayor ocurrencia de nevadas asociadas a eventos cálidos ENSO la Cordillera de los Andes correspondiente a la provincia de Mendoza.

Como se describió con mayor detalle en el punto 2.1.5.1, Berton *et al.* (en Etcheverría *et al.*, 2006) destaca el aumento del caudal de los ríos que avanan hacia el este de los Andes y como estos muestran interrelaciones con la oscilación del fenómeno El Niño, tal como ocurre con los ríos de la provincia de Mendoza, que son más propensos a experimentar alto caudal durante los estados tempranos de eventos cálidos de El Niño, debido al aumento de las nevadas sobre los Andes.

Balance hídrico

En la Figura 4.2 se presenta un balance hídrico entre precipitación y evapotranspiración potencial para el período 1971-2000, en Mendoza (INTA Trenque Lauquen). Se aprecia que en todos los meses la EVT es superior a la precipitación, llegando a triplicar a la precipitación, tal como sucede en diciembre. Sin embargo, se destaca que en virtud de ser tan baja la precipitación, e insuficiente para los sistemas productivos agropecuarios, dependen todo el año del riego provisto por canales que traen agua de los numerosos ríos con que cuenta la provincia, alimentados por el deshielo en la cordillera de los Andes.

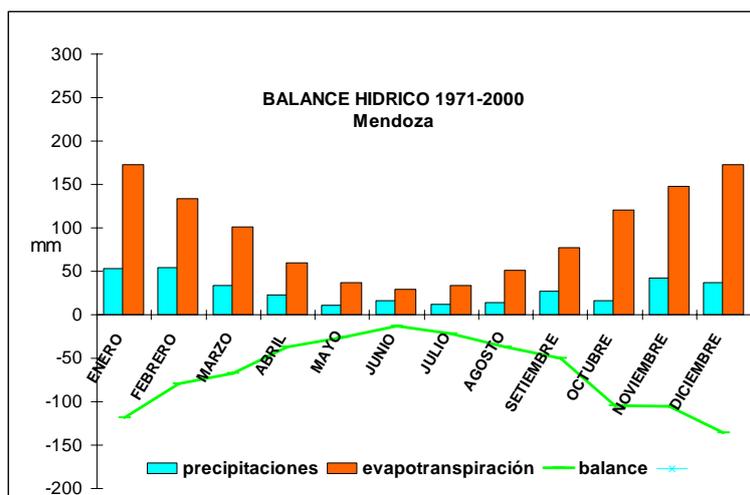


Figura 4.2 Balance hídrico de Mendoza para el período 1971-2000 (extraído de INTA Trenque Lauquen).

4.1.1.2 Provincia de San Luis

La Secretaría de Minería de La Nación Argentina (SMN, 2007), efectúa una revisión sobre las condiciones de clima, características fisiográficas y suelos de la provincia de San Luis. Esta provincia se sitúa en el centro de la Argentina, posee una superficie de 76,748km², longitud de 464 km entre los 31° 50' 30" y 36° de latitud sur, y en ancho, aproximadamente 225km en su máxima extensión de este a oeste, entre los 64° 55' 30" y los 67° 15' 30" de longitud oeste.

Desde el punto de vista climático se caracteriza por presentar condiciones semiáridas y áridas, según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), zona de transición entre el clima subhúmedo seco y el clima semiárido; que determinan que el clima edáfico (punto 2.1.5.2.) se ubique en los límites de los regímenes de humedad de los *suelos ústico* y *arídico*, y el régimen de temperatura edáfico *térmico* con 17°C de promedio anual. Para algunos autores, citados en SMN (2007), la provincia si bien se haya dentro de la zona templada, con características de semi-aridez a causa de la influencia de ciertos factores como el relieve, las masas de aire y el alto índice de continentalidad, presentan aspectos climáticos particulares.

Pastore y González (1954) en SMN (2007) describen al clima de la zona como perteneciente al templado, dentro de una zona de transición entre el clima árido y el patagónico, pero con características netamente continentales. Se indica la existencia de dos masas de aire húmedo que actúan en el sector este de la provincia, otorgando a la misma mayores aportes pluviales. Por otra parte las masas de aire cálido que ingresan del norte pasan por las Sierras Comechingones, Valle de Concarán, ascendiendo luego por las Sierras de San Luis y del Morro dando lugar a la precipitación estival. El alto índice de continentalidad origina amplitud térmica importante, asimismo la topografía y la orientación de las Sierras generan situaciones de microclimas.

En Anexo B-2-1 se presentan antecedentes sobre el clima de San Luis, y se describe el corrimiento de las isohietas según los siguientes autores: Del Vitto *et al.* 1993, en SMN 2007; Berton *et al.* en Etcheverría *et al.*, 2006; Collado y Hellmers, 2003; y Garay y Veneciano, 2005.

En la Tabla 4.2 se presenta el promedio de precipitación entre los años 1968 y 1981, y entre 1994 y 2005 en INTA Mercedes. En el Anexo B-2.2, en la Tabla B2, se presentan los datos mensuales por años. Los resultados aquí presentados son coincidentes con lo indicado en párrafo anterior respecto a que las medias superan los 500mm.

Tabla 4.2 Promedio de precipitación entre 1968 – 1981, y 1994 - 2005, Mercedes, San Luis

Promedio	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1968-1981	110.1	75.9	82.2	32.2	14.8	11.9	7.2	12.2	18.6	31.8	57.6	69.7	524.4
1981-2005	116.2	85.2	80.6	75.0	39.8	5.2	14.5	14.8	29.5	49.1	80.9	103.8	694.7
Promedio todo	107.0	75.4	81.4	51.5	27.3	10.6	10.3	14.3	22.7	40.3	69.8	87.9	598.3

Balance hídrico

En Figura 4.3 se presenta un balance hídrico entre precipitación, y evapotranspiración potencial, para el período 1971-2000, en Mercedes, San Luis (extraída de INTA Trenque Lauquen). Se aprecia que en todos los meses la EVT es superior a la precipitación, casi duplicando a la precipitación durante el invierno y continúa así en septiembre, y octubre. Respecto a Mendoza, se aprecia que en San Luis la precipitación es algo mayores para casi todos los meses, con excepción del invierno, que en ambos es muy escasa. Las evapotranspiraciones son semejantes en ambos sitios, por lo que conduce a balances negativos más marcados en Mendoza.

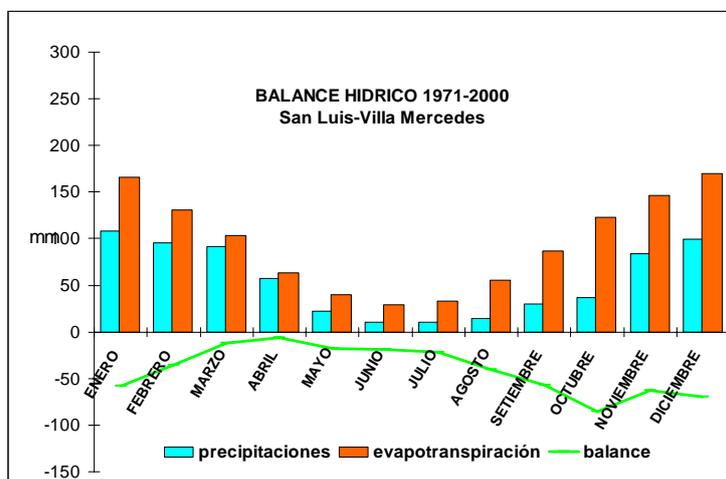


Figura 4.3 Balance hídrico de Villa Mercedes, San Luis, para el período 1971-2000 extraída de INTA Trenque Lauquen)

4.1.1.3 Provincia de La Pampa

La Pampa, es una provincia mediterránea situada en el centro geográfico del país, cuya superficie es de 143,440km² (aproximadamente el 4% del total nacional), limita al norte y oeste con la provincia de Mendoza, al norte con San Luis y Córdoba; al este con Buenos Aires; al sur con Río Negro (Castaldo, 2003). En la Figura 2.3 (mosaico digital entre Buenos Aires, y cordillera de los Andes, se aprecia como las provincias de La Pampa y Buenos Aires, presentan una continuidad geomorfológica característica. En el límite entre las provincias de La Pampa y Buenos Aires, en las imágenes satelitales, se aprecian prominentes y alargadas depresiones con orientación oeste-noroeste indicadas por Malagnino (1988) (Figura 2.11), son valles antiguos (depresiones) que al presente están enterrados bajo de un campo de dunas.

Esta evolución geomorfológica es explicada en detalle en el punto 2.1.2.1., y se vincula con este punto debido a que tal como se indica, resulta de *cambios climáticos históricos*, que dieron lugar a las unidades principales del relieve, y a los sistemas fluviales del territorio durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, con alternancia de *período: cálido y húmedo; frío y seco*; y por último un nuevo período frío y de extrema aridez que da origen al campo de dunas indicado precedentemente.

Por su ubicación, esta provincia en su parte noreste aun continúa con características de la región pampeana húmeda, y mientras que en resto del territorio presenta los signos distintivos de la Patagonia (Figura 2.4) (Castaldo, 2003). La provincia integra el dominio de los climas templados y semiáridos (temperatura media anual entre 14° y 16°C), con una gran amplitud térmica (diferencia entre el mes más caliente y el mes más frío) típica de clima continental.

Se divide en función de su precipitación, heladas, amplitud térmica, entre otras variables, en sub-áreas: *Nororiental* con mayor precipitación, suelos más productivos y temperaturas templadas, que han permitido el asentamiento de la mayor parte de la población con el mayor desarrollo productivo, y *Oeste-Sudoeste*, donde disminuye el nivel de precipitación y calidad del suelo, siendo las amplitudes térmicas más pronunciadas. El período libre de heladas es de aproximadamente 225 días y el período con heladas de 140 días, variando también de norte a sur (Castaldo, 2003). A partir de estos valores presentados en el Anexo B en Tabla B3 sobre la precipitación ocurrida entre los años 1911 y 2006 en Anguil (INTA Anguil) y analizados según se indicó en materiales y métodos, se obtuvo lo que a continuación se describe.

Precipitación- Anomalía

En la presente tesis, en el periodo comprendido entre 1911 y 2006, los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos o lluviosos*, y *muy húmedos o muy lluviosos*, tal como se presenta en Tabla 4.3. y Figura 4.4. Se aprecia que en el periodo considerado de 95 años, se produjeron en forma alterna años secos, y muy secos en un total de 42 años, y húmedos a muy húmedos en un total de 30, y normales 23 años.

Tabla 4.3 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías, entre 1911 a 2006, Anguil, La Pampa

Año	Clasificación								
1911	seco	1931	seco	1951	muy seco	1971	seco	1991	muy lluvioso
1912	muy seco	1932	seco	1952	muy seco	1972	lluvioso	1992	muy lluvioso
1913	seco	1933	seco	1953	seco	1973	muy lluvioso	1993	lluvioso
1914	muy lluvioso	1934	lluvioso	1954	normal	1974	normal	1994	normal
1915	seco	1935	muy seco	1955	lluvioso	1975	normal	1995	seco
1916	muy seco	1936	seco	1956	seco	1976	lluvioso	1996	muy lluvioso
1917	normal	1937	muy seco	1957	lluvioso	1977	lluvioso	1997	lluvioso
1918	lluvioso	1938	seco	1958	seco	1978	normal	1998	lluvioso
1919	muy lluvioso	1939	seco	1959	normal	1979	normal	1999	muy lluvioso
1920	lluvioso	1940	normal	1960	seco	1980	normal	2000	lluvioso
1921	normal	1941	seco	1961	seco	1981	seco	2001	muy lluvioso
1922	normal	1942	seco	1962	muy seco	1982	normal	2002	lluvioso
1923	Normal	1943	normal	1963	muy lluvioso	1983	normal	2003	seco
1924	muy seco	1944	normal	1964	seco	1984	normal	2004	lluvioso
1925	Lluvioso	1945	seco	1965	seco	1985	muy lluvioso	2005	seco
1926	Normal	1946	lluvioso	1966	seco	1986	lluvioso	2006	seco
1927	Seco	1947	seco	1967	seco	1987	muy lluvioso		
1928	muy seco	1948	seco	1968	lluvioso	1988	normal		
1929	Seco	1949	seco extremo	1969	lluvioso	1989	normal		
1930	Normal	1950	seco extremo	1970	normal	1990	seco		

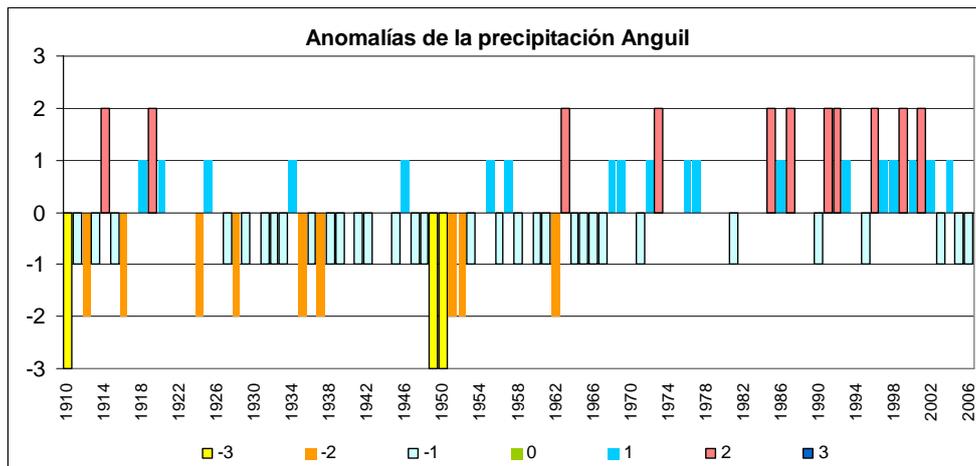


Figura 4.4 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías, entre 1911 a 2006 en Anguil, La Pampa

Equivalencias: Años lluvioso en extremo, 3; Muy lluvioso, 2; Lluvioso, 1; Normal, 0; Seco -1; Muy seco -2; Secos en extremo, -3.

El promedio general del periodo analizado que es de 657mm que define un clima semiárido. Al igual que en las provincias anteriormente analizadas, se produce una alta variabilidad entre años, incluso consecutivos, por ejemplo entre 1962 (438mm) y 1963 (1,121.9mm). Los extremos de precipitación anual fueron entre un mínimo de 249 en 1910, y un máximo de 1121.9mm en 1963. Se aprecia que igualmente, como se mencionó para las otras provincias, varios años consecutivos son clasificados como secos, y luego varios años consecutivos como húmedos. Es claro que prevalecen los periodos secos hasta 1971, para luego alternar años lluviosos con normales. Igualmente entre los años 1918 y 1923, ocurre un periodo que alterna entre lluviosos, muy lluviosos y normales, luego desde 1927 hasta 1972, prevalecen los años muy secos, secos, normales, con sólo algunos años aislados muy lluviosos (1955, 1957, 1963).

Castaldo (2003) en la revisión sobre el clima de la provincia de La Pampa, hace referencia de los siguientes autores: Roberto *et al.* (1994); Sierra *et al.* (2001); Casagrande *et al.* (2000); Danish Hydraulic Institute (2000), cuyas principales conclusiones se presentan en el en Anexo B-3.2. Castaldo (2003) concluye respecto a la precipitación, que existen sobrados estudios que indican cambios en la cantidad de precipitación anual y tendencias positivas a partir de la década de 1970, por lo cual centra su estudio, en el análisis de la distribución, dividiendo básicamente el siglo XX en dos periodos: 1911-1970 y 1971-1999. Este autor encuentra incrementos entre los *meses de noviembre a abril*, mientras que no los encontró entre los meses de mayo y octubre. En la Figura 4.7, se presenta la variación indicada por Casagrande y Vergara (2001) en Castaldo (2003).

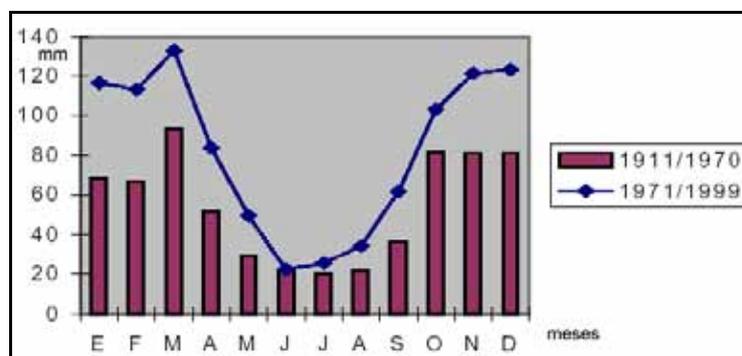


Figura 4.5 Variación de las precipitaciones en dos periodos, 1911-1970 y 1971-1999 (extraída de Casagrande y Vergara, 2001 en Castaldo, 2003).

Sin embargo, tal como se aprecia en la Tabla B3, Anexo B-3.1 la variabilidad entre meses dentro de cada año resulta muy alta, y si bien es claro que la precipitación se concentra en los meses más cálidos, en un alto número de años principalmente húmedos es también importante el incremento de precipitación durante el invierno.

Balance hídrico

La Figura 4.6 presenta un balance hídrico entre precipitación, y evapotranspiración potencial, para el período 1971-2000, en Anguil, La Pampa (INTA Trenque Lauquen).

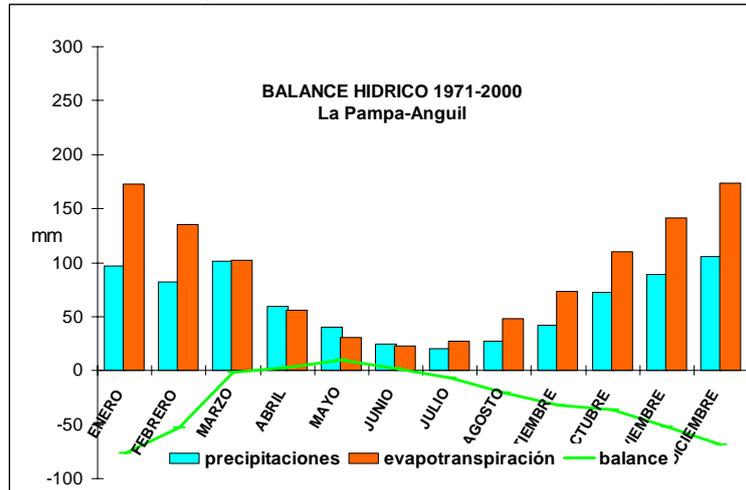


Figura 4.6 Balance hídrico de Anguil, La Pampa, para el período 1971-2000 (INTA Trenque Lauquen).

Se aprecia el balance negativo que resulta de una EVT superior a la precipitación en casi todos los meses, con excepción de los meses de invierno, mayo a junio. Se destaca, que los años considerados se corresponden con el periodo que se indica para el territorio un promedio anual de precipitación mayor a 200mm. Esto fue lo que provocó la agriculturización que se mencionara para esta provincia, así como en San Luis, y noroeste de Buenos Aires, donde la precipitación no permitía normalmente la agricultura sin riego. Al respecto, es pertinente mencionar que Lozanoff y Cap (2006) indican que existe una aceptación para incorporar riego por parte de los productores agropecuarios, debido a alto precio de los granos, como ocurre actualmente.

Sin embargo, existe un problema adicional en muchas regiones semiárida-subhúmeda de Argentina, que tiene una calidad de agua para el riego de deficiente a mala, debido a una elevada salinidad y alcalinidad, por lo cual, los suelos se degradarían de no contarse con procedimientos y técnicas de manejo ajustados al suelo, agua, y cultivo. La degradación por salinización-alcalinización por riego, es la segunda causa de degradación de tierras en América Latina, luego de la erosión (Pla Sentís, 2005) (en el punto 2.1.3.4. se amplía sobre este tema).

4.1.1.4 Provincia de Córdoba

Córdoba es una provincia Argentina, situada en el centro del país. Con 165,321km² de extensión, es la quinta provincia más extensa del país, ocupando el 5.94% de su superficie total. Las condiciones climáticas son diferentes según la región. La porción oriental de la provincia tiene al sur un clima templado pampeano, y al norte subtropical, con estación seca. La parte occidental, en las sierras, presenta un clima subtropical serrano muy semejante al clima mediterráneo.

Las laderas orientales de la sierra son más húmedas al producirse lluvia orográfica principalmente en verano, mientras que en las occidentales el clima es más árido, con escasa precipitación y viento seco. La temperatura al igual que la precipitación disminuye de norte a sur, y de este a oeste, salvo en las faldas orientales de las sierras, que por influencia de los vientos del este son abundantes. Se caracteriza por la presencia de ríos que nacen en las sierras Grande y de Comechingones, siendo de norte a sur los siguientes: *Río Primero, Segundo o Xanaes, Tercero o Calamuchita, Cuarto o Chocancharava y Quinto o Popopis*.

Este último nace en las sierras de San Luis, y recorren la provincia en dirección oeste-este, y algunos autores lo mencionan como uno de los ríos que ha incidido en las inundaciones del noroeste bonaerense (punto 1.1., Figura 2.39, y punto 2.2). Estos ríos y sus afluentes presentan máximo caudal durante el verano, con crecidas violentas e inesperadas tras las lluvias (Wikipedia, 2007).

Debido a que este río presenta cambios importantes en su caudal, recorrido, y longitud en función de la precipitación, en este punto, resulta pertinente, describir sintéticamente como este río evoluciona y recorre las provincias desde San Luis hasta Buenos Aires, según las condiciones climáticas. En el Anexo B-4.1 se describe las características del Río Quinto, y como este incide en la provincia de Buenos Aires, en la región del presente estudio.

En la Figura 4.7, se indica inicio en San Luis del Río Quinto, Bañado la Amarga (Córdoba); complejo Lagunar Hinojo Las Tunas en Trenque Lauquen, y ciudad de Bragado en la Provincia de Buenos Aires, donde se inicia el Río Salado. Asimismo, se indica la ubicación de la laguna La Picasa, en el sur de Santa Fe, que será tratada en punto siguiente, y que como se indicó en (punto 1.1, y 2,2) podría estar también aportando agua al noroeste bonaerense.



Figura 4.7 Imagen satelital, se indica origen del Río Quinto y sitios por donde escurre hasta unirse en Bragado con el Río Salado en épocas húmedas (extraída de Google)

Manfredi

En el Anexo B-4.2 se presenta en la Tabla B4 la precipitación ocurrida entre los años 1903 y 2006 en Manfredi, Córdoba (valores suministrados por INTA Manfredi). Se destaca que Manfredi, se encuentra en el centro de la provincia ($31^{\circ}51'00''S$, $63^{\circ}45'00''O$), en la región

denominada Llanuras Orientales de muy baja pendiente (2 por mil) en la dirección E a E-NE, con altitudes de 360msnm al O, hasta 160msnm al E.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1903 y 2006 para la localidad de Manfredi, Córdoba, los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos o lluviosos*, y *muy húmedos o muy lluviosos*, tal como se presenta en la Tabla. 4.4 y en Figura 4.8 se representa la desviación estándar.

Se aprecia que en el periodo considerado de 103 años, se produjeron en forma alterna años secos, y muy secos en un total de 58 años, y húmedos a muy húmedos en un total de 18, considerándose normales 27 años. El promedio medio anual para el periodo 1903-2006 es de 825mm, con promedios extremos de 448mm (1906) a máximo de 2,43mm (1977) (Anexo B-4.2 Tabla B4).

En esta localidad, se aprecia más claramente el *ciclo húmedo*, entre los años 1970 y 1981 donde la precipitación se incrementa en forma mucho mayor que en el resto de localidades aquí analizadas, con un promedio medio anual para ese período de **1,539.9mm**. Por el contrario el periodo entre 1903 y 1969, presenta un promedio medio anual de 720mm (sólo en tres años, 1903, 1934, y 1939 la precipitación es cercana a 1,000mm anuales), y desde 1981 hasta 2006, el promedio nuevamente es de 769mm.

El incremento en la década 1970-1981 fue 820mm respecto al primer período (1903-1969), y de 769mm para el periodo 1972-2006). En ninguno de los sitios analizados hasta aquí, se presenta un incremento en la precipitación.

Tabla 4.4 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías, entre 1903 a 2006 en Manfredi, Córdoba

Año	Clasificación	Año	Clasificación	Año	Clasificación	Año	Clasificación	Año	Clasificación
1903	seco	1924	seco	1945	seco	1966	normal	1987	seco
1904	seco	1925	seco	1946	seco	1967	normal	1988	muy seco
1905	seco	1926	normal	1947	seco	1968	seco	1989	seco
1906	muy seco	1927	normal	1948	muy seco	1969	seco	1990	normal
1907	seco	1928	normal	1949	muy seco	1970	lluvioso	1991	normal
1908	muy seco	1929	seco	1950	muy seco	1971	muy lluvioso	1992	normal
1909	seco	1930	normal	1951	muy seco	1972	muy lluvioso	1993	seco
1910	muy seco	1931	normal	1952	normal	1973	lluvioso extremo	1994	muy seco
1911	seco	1932	normal	1953	seco	1974	muy lluvioso	1995	muy seco
1912	normal	1933	seco	1954	muy seco	1975	muy lluvioso	1996	normal
1913	seco	1934	lluvioso	1955	normal	1976	lluvioso extremo	1997	seco
1914	normal	1935	seco	1956	normal	1977	lluvioso extremo	1998	seco
1915	seco	1936	seco	1957	normal	1978	lluvioso extremo	1999	lluvioso
1916	muy seco	1937	muy seco	1958	normal	1979	lluvioso extremo	2000	seco
1917	muy seco	1938	seco	1959	lluvioso	1980	lluvioso extremo	2001	normal
1918	seco	1939	lluvioso	1960	normal	1981	lluvioso	2002	normal
1919	normal	1940	normal	1961	lluvioso	1982	muy seco	2003	muy seco
1920	seco	1941	seco	1962	muy seco	1983	seco	2004	seco
1921	seco	1942	seco	1963	seco	1984	muy lluvioso	2005	normal
1922	normal	1943	seco	1964	seco	1985	normal	2006	normal
1923	seco	1944	seco	1965	muy seco	1986	seco		

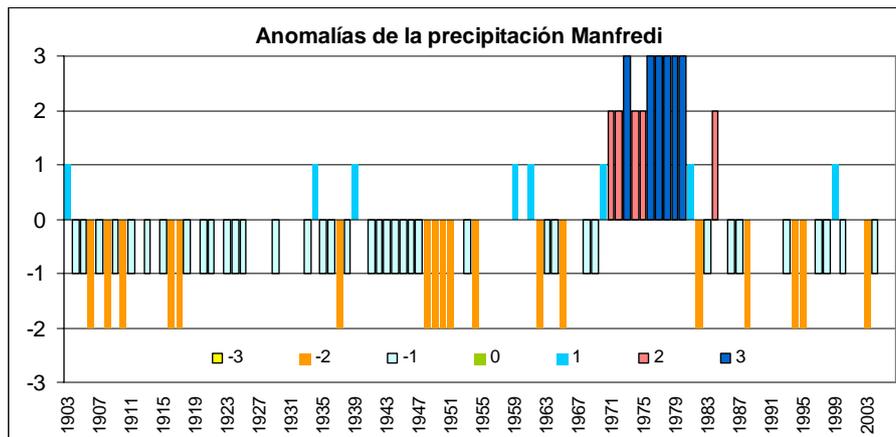


Figura 4.8 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías entre 1903 y 2006, Manfredi, Córdoba (datos INTA Manfredi)

Equivalencias: Años lluvioso en extremo, 3; Muy lluvioso, 2; Lluvioso, 1; Normal, 0; Seco -1; Muy seco -2; Secos en extremo, -3.

En la Figura 4.8 se aprecia claramente el único período que se aleja marcadamente de su media general.

Si bien esta localidad, no se aprecia que tenga una incidencia directa sobre el área noroeste bonaerense, se la incluyó por la magnitud en el cambio, y siendo además, la localidad con la que se contó con mayor información para las cercanías del sur cordobés, por donde escurre el Río Quinto.

Balance hídrico

En Figura 4.9 se presenta un balance hídrico entre precipitación, y evapotranspiración potencial, para el período 1971-2000, Manfredi, Córdoba (extraídas INTA Trenque Lauquen). En este caso, los autores incluyen todo el periodo excepcionalmente húmedo que se produce entre los años 1971 y 1980, no obstante, igualmente la evapotranspiración potencial supera en todos los meses la precipitación, resultando un balance negativo.

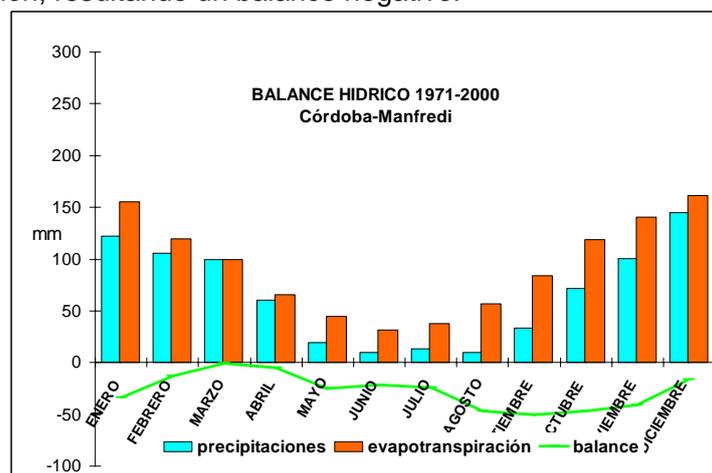


Figura 4.9 Balance hídrico de Manfredi, Córdoba para el período 1971-2000 (extraídas INTA Trenque Lauquen)

Laboulaye

Laboulaye es la ciudad principal del departamento Presidente Roque Sáenz Peña ubicado en la provincia de Córdoba (coordenadas, 37°04'00"S, 63°23'58"O, y a 131msnm). Uno de los cuatro sectores en que se divide el departamento, incluye a los Bañados de la Amarga, formados por

el paso del Río Quinto (Figura 4.7). Son frecuentes en esta región, relatos históricos sobre las demoras que tuvo la construcción del ferrocarril debido a inundaciones en la región, indicándose que transcurría en el denominado *Hemiciclo Húmedo* de 1870 a 1920, narrado por el investigador (Florentino) Ameghino (1884) y específicamente en los bañados de La Amarga entre 1883 y 1884 (Wikipedia, 2007).

En el Anexo B-4.3, se analiza la ocurrencia de inundaciones en Córdoba, y como la intervención del hombre ha incidido en las mismas, destacando las canalizaciones en el Río Quinto (Degioanni, *et al.*,1999).

Degioanni, *et al.*(1999) indican para Laboulaye a partir de información del Servicio Meteorológico Nacional, la siguiente información:

- 1903-1998, media anual de 798 mm.
- Meses más lluviosos son los siguientes: 98mm en noviembre, 105mm en diciembre, 101mm en enero, 95mm en febrero, y 115mm en marzo, en los cuales se concentra el 75% de la precipitación, típico de un régimen tipo monzónico.
- El valor máximo anual de la serie se registró en 1998, 1,391mm; el mínimo en 1929, 356mm (amplitud de 1,035 mm) con una desviación estándar de 186mm y un coeficiente de variación de 23%, mostrando una amplia irregularidad del régimen hídrico de la zona.
- Por medio de la gráfica de la media móvil aparece un comportamiento cíclico de la precipitación con alternancia de ciclos seco y húmedo de duración entre 25 y 40 años con la existencia de un ciclo seco pasado y otro húmedo actual. Por otra parte, al hacer una gráfica lineal de tendencia se percibe un incremento sostenido de la precipitación media anual de 1.7mm/año.
- Los promedios anuales son variables en función del período considerado, por ejemplo, para la década 1928-1938, 705mm, y en la década 1988-1998, 952mm, con un incremento sostenido de la precipitación media anual partir de 1970.
- Una característica de la precipitación de la región es que puede presentarse un valor de precipitación mensual que duplica o triplica el valor medio esperado.
- También es posible la ocurrencia de lluvia mensual con máximo de 300 a 500mm en pocos días, con una gran concentración espacial.
- El **balance hídrico** muestra un marcado déficit en los meses de diciembre, enero y febrero, y un período de excedente de agua bien definido durante los meses de marzo y abril. El balance hídrico continuo en el periodo 1961-98 indica la evolución cronológica de excedente y déficit. A partir de los años 1970's se incrementa la frecuencia de años con excedente, y desde 1985 se inicia un periodo en el cual en todos los años se produjo exceso hídrico. Más importante que la magnitud de cada exceso anual, es la cantidad de años consecutivos en que se presentaron dichos excedentes.
- La media móvil para los excedentes hídricos resultantes revela una tendencia creciente del excedente anual en el orden de 200mm. Tendencia resultante no sólo de un mayor ingreso de agua precipitada, sino del estado de saturación que presenta el sistema hídrico al inicio de cada uno de los periodos críticos.

En términos generales, se aprecia que el análisis que efectúan estos últimos autores para Laboulaye, es semejante al indicado para Manfredi en párrafos anteriores, y se diferencia del resto de los sitios analizados ya que el aumento en precipitación ha sido mayor. Se destaca sin embargo, que en Manfredi, no se produjo para el periodo analizado la alternancia que se indica para Laboulaye, sino por el contrario, se encuentra concentrado en la década 1970-1981.

Es de destacar que Degioanni, *et al.* (1999), indican además la existencia de **aportes de agua subterránea profunda** (*descarga*), si bien no definen las zonas de recarga. En Anexo B-4.3, se analiza este aporte de agua profunda, y la distinción que estos autores realizan entre agua de carácter local y regional.

Monti (2001) analiza el sur de Santa Fe y Córdoba, incluye en su análisis a Laboulaye y Rufino. Indica que la precipitación tiene un comportamiento cíclico. En los últimos 100 años hasta 1920 existió un ciclo húmedo que generó inundaciones en gran parte del sur de la región seguido por un ciclo seco que duró hasta 1970, con valores extremos entre 1940 a 1950 que llegaron a valores próximos a 500mm de precipitación anual. A partir de allí se comenzó con un nuevo ciclo húmedo agudizándose en 1997-1998 a partir del evento denominado Niño y prosiguió con precipitación muy alta hasta el presente.

Se presenta la Figura 4.10 extraída de Monti (2001) sobre las evoluciones de las medias móviles para 5 años en Laboulaye, respecto al promedio general, para el período 1903-1998, donde se aprecia lo señalado por Degioanni, *et al.*(1999).

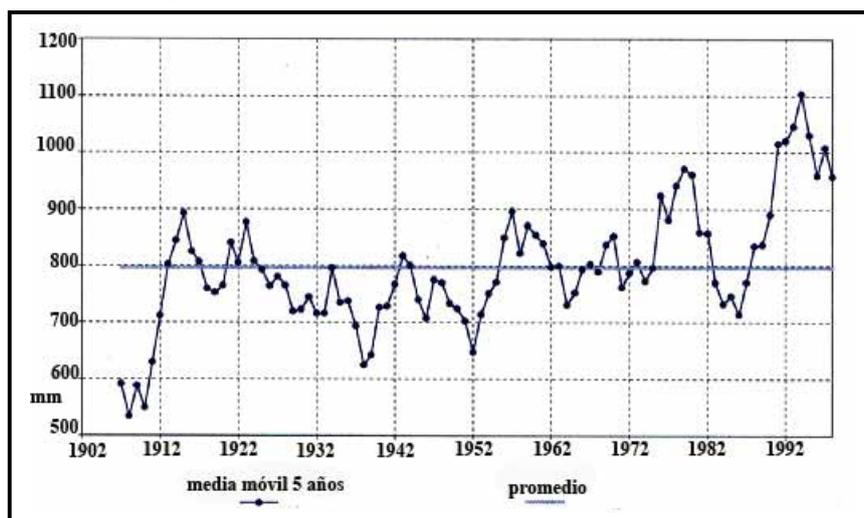


Figura 4.10 Evolución de las medias móviles para 5 años en Laboulaye (extraída, Monti, 2001)

Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) realiza una división de la pradera pampeana en regiones hidrometeorológicas, e incluye en una misma región a Laboulaye y Rufino, localidad que se analiza en el punto siguiente. Este autor analiza como se modifica la profundidad de la superficie freática con la variación de la precipitación.

La Tabla 4.5 muestra los datos que este autor presenta para Laboulaye, y Rufino, de precipitación media para diferentes precipitación (P), evapotranspiración potencial (EVT), balance (P-EVT), precipitación media que genera un incremento en la profundidad de la superficie freática, e incremento que resulta de ésta en metros.

Tabla 4.5 Balances hídricos para diferentes períodos en Laboulaye y Rufino, y efectos en la profundidad de la superficie freática (extraída Risiga, en CIMA-CONICET, 2006)

	Año	P (mm)	EVT (mm)	P-EVT	P que eleva sup. freática (mm)	Incremento medio sup. freática (m)
Laboulaye	1940 -1951	750	879	- 129	804	2,80
	1959 -1975	818	872	- 54		
Rufino	1969 -1976	831	857	-26	613	0,963

En Anexo B-4.4 se presenta el análisis que este autor efectúa entre variaciones de la superficie freática y precipitaciones, los desfases que entre estas encuentra y la incidencia de agua de carácter regional.

4.1.1.5 Provincia de Santa Fe

Rufino

El Distrito Rufino se encuentra ubicado en el extremo sur oeste de la provincia de Santa Fe en el Departamento General López. Limita al sur con la Provincia de Buenos Aires (21km) y al oeste con Córdoba (7km). La zona de Rufino carece de un curso definido de agua que permita coleccionar y evacuar el excedente de agua de lluvia, por lo que la escorrentía general se ve dificultada por un relieve generalmente plano recortado por cañadas que son interrumpidas por suaves lomadas generando zonas de derrame formando lagunas permanentes o semi-permanentes (Monti, 2001).

Monti (2001), indica que en esta región se pueden diferenciar dos áreas: **Sur**, con pendiente suave de este-oeste, caracterizado por la presencia de una serie de lagunas y bajos, que frente a excesos de agua rápidamente se interconectan generando aportes directos a la laguna **La Picasa**, este aporte se produce desde 1997 y se ha mantenido más o menos activo en forma permanente.

El relieve se caracteriza por ser deprimido con suaves lomadas, y suelos con drenaje lento. **Norte**, el relieve está caracterizado por lomadas recortada por cañadas, con pendientes locales pronunciadas con orientación NO-SE, las zonas deprimidas actúan como verdaderas cuencas de recepción con escorrentía dificultada por lomas que se interponen dicha escorrentía, siendo por lo general el drenaje en esta zona rápido a moderado.

Como se indicó al principio de este tema, el noroeste bonaerense puede recibir aportes desde la Laguna **La Picasa**. Esta laguna se encuentra ubicada en la provincia de Santa Fe, a unos 40km de Rufino (Figura 4.7); es un espejo de agua con una cubeta original de unas 3,000ha aproximadamente, y actualmente su superficie es de 35,000ha con una profundidad media de 2.50m, habiendo inundado una planicie que era de pastura, originalmente. Se destaca, que estos valores varían y la bibliografía indica valores muy dispares.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1975 y 2006, para la localidad de Rufino, Santa Fe (datos suministrados por INTA Castelar), los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos* o *lluviosos*, y *muy húmedos* o *muy lluviosos*, tal como se presenta en la Tabla 4.6 y en la Figura 4.11.

Tabla 4.6 Clasificación según las anomalías, entre los años 1975 y 2006, en Rufino, Santa Fe.

año	clasificación								
1975	normal	1982	seco	1989	seco	1996	seco	2003	muy seco
1976	seco	1983	seco	1990	normal	1997	normal	2004	lluvioso
1977	seco	1984	normal	1991	muy lluvioso	1998	lluvioso	2005	seco
1978	normal	1985	lluvioso	1992	seco	1999	normal	2006	seco
1979	seco	1986	seco	1993	normal	2000	seco		
1980	seco	1987	normal	1994	normal	2001	seco		
1981	normal	1988	seco	1995	seco	2002	seco		

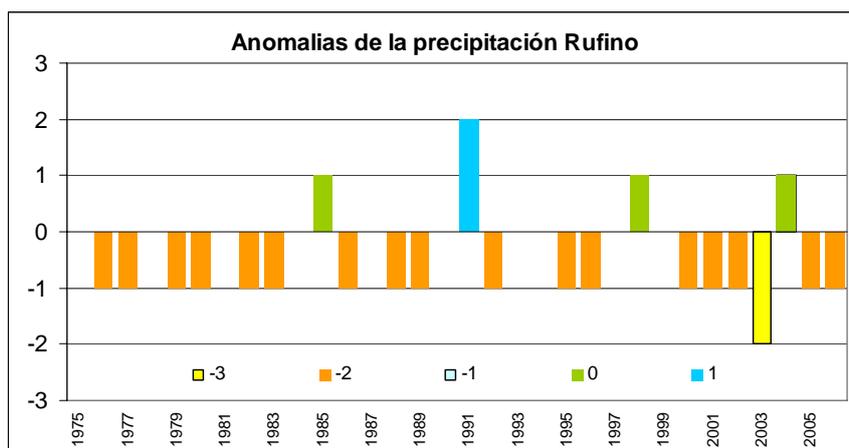


Figura 4.11 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías entre 1975 y 2006, Rufino, Santa Fe

Equivalencias: Años lluvioso en extremo, 3; Muy lluvioso, 2; Lluvioso, 1; Normal, 0; Seco -1; Muy seco -2; Secos en extremo, -3.

En los 31 años analizados, prevalecen 18 años secos, y 10 normales, siendo 4 lluviosos y muy lluviosos (1985, 1991, 1998, 2004). El promedio de precipitación media anual para este periodo 1975-2006, es de 1019.7mm, el promedio mínimo de 556mm en el 2003, y el máximo de 1,614mm en el año 1991 (Tabla B5, Anexo B-5).

Esto es coincidente con lo indicado por Monti (2001) para estos años, si bien, tal como se aprecia en Tabla 4.7, se observan ligeras diferencias, posiblemente debido al diferente sitio en que fue medida la precipitación. Además, este autor analiza un período más amplio.

Tabla 4.7 Análisis comparativos de la precipitación de diferentes períodos en Rufino, Santa Fe, datos de la Sociedad Rural (extraída de Monti, 2001)

mes	1921/50	1986/96	1997	1998	1999	2000	2001
E	85	114	77	143	70	86,5	153
F	86,9	93	60	277	89	115	38
M	107	155	104	116	380	0	136
A	72,5	104	159	180	95	95,5	163
M	39,8	51	40	50	28	150,5	0
J	25,9	21	39	6	23	8	0
J	22,7	16	8	32	16	8	0
A	19,5	23	4	28	22	8	43
S	49,4	42	46	43	50	5	117
O	82,4	105	222	68	158,5	128	184
N	82,4	110	134	197	64,5	161	
D	94,7	125	202	118	81,5	43	
Total	768,2	960	968	1258	1078	808,5	834

Monti (2001) indica para el período 1921-1950, un promedio de 768.2mm anuales con déficit respecto a la ETP (850mm). Dentro del ciclo húmedo, 1986 a 1996, el promedio es de 960mm, que resulta **190mm** superior a la serie histórica del sitio. En la primavera de 1997 comienza el evento Niño concentrándose en el término de tres meses 578mm, y en 1998 se registra la precipitación más alta de la serie, continuado en 1999 con precipitación por encima de los 1,000mm.

Por último, este autor, indica que debido a que el año 2000 fue relativamente seco, permitió la desaparición de parte de las lagunas, pero destaca que la superficie freática no descendió lo

suficiente como para aumentar la capacidad de recarga. Por lo cual, afirma que en noviembre al comenzar nuevamente la precipitación, con alta intensidad seguido por un otoño muy húmedo en el 2001, y una primavera inusualmente lluviosa generó nuevas situaciones de fuertes inundaciones.

Esto no es coincidente con lo presentado en Tabla B5 del Anexo B-5, ya que 2001 no es particularmente húmedo, si bien en primavera se dan valores alto, se produjeron en muchos otros años valores semejantes. En función del análisis aquí efectuado, el año 2001, fue seco, aunque en el límite de normal (Tabla 4.6).

Asimismo, Monti (2001) realiza un análisis de la estacionalidad de la precipitación e indica que si bien no existe un patrón típico de exceso hídrico, con mayor frecuencia ocurre en otoño, no obstante en 1997 y 2001 también hubo grandes excedentes a finales de invierno y primavera. En la Tabla 4.8 se presentan los valores presentados por este autor, y en Tabla 4.9 la evapotranspiración potencial para iguales períodos, y los balances hídricos resultantes.

Lo descrito en Monti (2001) es más fácilmente observable cuando se compara la precipitación estacional con la evapotranspiración potencial (EVT) correspondiente al mismo trimestre. Si bien tal como indica este autor, no se observa un patrón definido de distribución, no pareciera que por ejemplo los resultados del balance obtenido para los años 1999, y 2001 se correspondan con el exceso hídrico observado, lo cual confirma el aporte de agua de otros sitios.

Tabla 4.8 Precipitaciones promedio para diferentes períodos y años por estaciones (extraída de Monti, 2001)

Estación	1921/50	1986/96	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
Primavera	260	339	631	383	305	332
Verano	279	362	536	539	202	327
Otoño	138	176	236	146	254	163
Invierno	92	82	103	88	21	160
Total	768	959	1,506	1,156	781	982

Tabla 4.9 Evapotranspiración promedio para diferentes períodos por estación y balance (extraída de Monti, 2001)

Estación	EVT	1921/50	1986/96	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01
Primavera	281	-22	58	350	102	24	51
Verano	347	-68	15	189	192	-146	-20
Otoño	111	27	65	125	35	143	52
Invierno	80	12	2	23	8	-59	80

Se destaca, lo indicado por la Sociedad Rural de Rufino, al denunciar sobre las demoras en las obras de canalización de La Picasa a las autoridades ejecutoras, respecto a la ocurrencia de inundaciones en los meses de enero y febrero, 2007 (www.ruralrufino.org.ar/notas_2007/21_04_picasa.htm).

Con base en registros de los años 2005 y 2006 (Tabla B5, Anexo B-5), ambos fueron años secos, y si bien, 2004 fue húmedo, de realizarse la salida del agua sólo por evaporación, y provenir sólo por la lluvia, tal como se indica en Monti (2001) no serían de esperar inundaciones en enero-febrero de 2007 por efecto directo de la precipitación.

Los resultados muestran, que tiene que existir un aporte de agua subterránea que mantiene, e incluso aumenta, el nivel de la inundación de la región, y el tamaño de la laguna La Picasa. Esto se analizará en el punto relativo a resultados del procesamiento digital de imágenes.

Monti (2001) efectuó un análisis relacionando la ocurrencia de precipitación, con áreas inundadas, sin considerar aportes adicionales debido posiblemente, a que efectúa su análisis señalando que el área funciona como recarga de agua, o al menos que de este modo es como ingresa principalmente el agua al sitio, ya que indica que el motivo de mantenerse la inundación es que la superficie freática alta no permite la recarga de agua.

4.1.2 Provincia de Buenos Aires, partidos ubicados aguas arriba del área de estudio

A continuación se presentan algunos de los partidos ubicados en el noroeste bonaerense, principalmente hacia el norte de los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen con excepción de Saliquelló, y Henderson, que se ubican también en el noroeste bonaerense, pero hacia el sur de Trenque Lauquen, Saliqueló, ligeramente hacia el SO y Henderson, hacia el SE, de modo de dar un análisis algo más completo.

En Figura 2.25, se presenta la ubicación de los partidos. Asimismo, se presenta información del partido de 9 de Julio, al este del sitio de estudio, partido vecino a Carlos Casares, del cual no se dispuso de información.

4.1.2.1 General Villegas

Esta localidad se ubica en el extremo noroeste de la provincia de Buenos Aires, (coordenadas geográfica GK 35°02'S, 63°02'O; y 105msnm) donde se considera como unos de los sitios por donde ingresaría el agua de otras provincias a la provincia de Buenos Aires, tal como se indicó precedentemente al describir el recorrido del Río Quinto (Figura 4.7). El partido de Villegas, por su condición de limítrofe con tres provincias vecinas (Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe) es escenario de conflictos interprovinciales, que trascienden la órbita municipal ante cada exceso hídrico.

En las tres últimas décadas los problemas hídricos de las provincias vecinas en proximidades de Villegas, se han incrementado en forma proporcional a la ocurrencia del ciclo húmedo. Por otra parte, no han existido soluciones estructurales a estos conflictos por parte de la provincia, por lo que por el momento, no es clara la solución futura a estos problemas (Wikipedia, 2007).

En el Anexo B-6.1, se presenta en la Tabla B6 la precipitación ocurrida entre los años 1911 y 2006 en la localidad de General Villegas, Buenos Aires. A partir de estos valores, analizados según se indicó en materiales y métodos, se obtuvo lo que a continuación se describe.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1910 y 2004, los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos o lluviosos*, y *muy húmedos o muy lluviosos*, tal como se presenta en Tabla 4.10 y Figura 4.12.

En el periodo considerado de 93 años, se produjeron en forma alterna años secos, y muy secos en un total de 35 años, y húmedos a muy húmedos en un total de 11, considerándose normales 47 años. Es claramente apreciable que en esta localidad no ocurrieron los cambios en precipitación que se registraron en otras localidades, e incluso para algunas tan próximas como Rufino en Santa Fe, y Laboulaye en Córdoba.

El clima aquí presenta una menor variabilidad, no obstante son también importantes las variaciones entre los mínimos de precipitación media anual, inferiores a 500mm (1916, 1929, 1937, y 2003), y el máximo de 1,639mm, que se produjo en el año 1914. Igualmente otros años particularmente lluviosos, tuvieron valores algo superior a los 1,300mm, tales como 1919, 1940,

y 1984. El ciclo húmedo en esta localidad recién se inicia en 1984, y fue de tan sólo 4 años, luego continua en sus valores normales, hasta el 2003, coincidiendo con la gran sequía generalizada de las otras localidades.

Tabla 4.10 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías, entre 1911 a 2006, Gral Villegas, Buenos Aires

año	clasificación								
1911	normal	1929	muy seco	1947	seco	1965	normal	1983	normal
1912	normal	1930	normal	1948	seco	1966	seco	1984	lluvioso
1913	seco	1931	seco	1949	muy seco	1967	seco	1985	lluvioso
1914	muy lluvioso	1932	normal	1950	seco	1968	seco	1986	normal
1915	seco	1933	normal	1951	seco	1969	lluvioso	1987	lluvioso
1916	muy seco	1934	normal	1952	normal	1970	normal	1991	normal
1917	normal	1935	muy seco	1953	normal	1971	seco	1992	normal
1918	seco	1936	seco	1954	seco	1972	normal	1993	normal
1919	lluvioso	1937	muy seco	1955	normal	1973	normal	1994	normal
1920	normal	1938	muy seco	1956	normal	1974	seco	1995	seco
1921	normal	1939	normal	1957	normal	1975	normal	1996	normal
1922	normal	1940	muy lluvioso	1958	normal	1976	lluvioso	1997	normal
1923	normal	1941	normal	1959	normal	1977	seco	1998	seco
1924	seco	1942	seco	1960	muy seco	1978	normal	1999	seco
1925	lluvioso	1943	normal	1961	normal	1979	seco	2000	normal
1926	normal	1944	seco	1962	seco	1980	normal	2001	normal
1927	normal	1945	muy seco	1963	seco	1981	normal	2002	normal
1928	normal	1946	lluvioso	1964	normal	1982	seco	2003	muy seco
								2004	normal

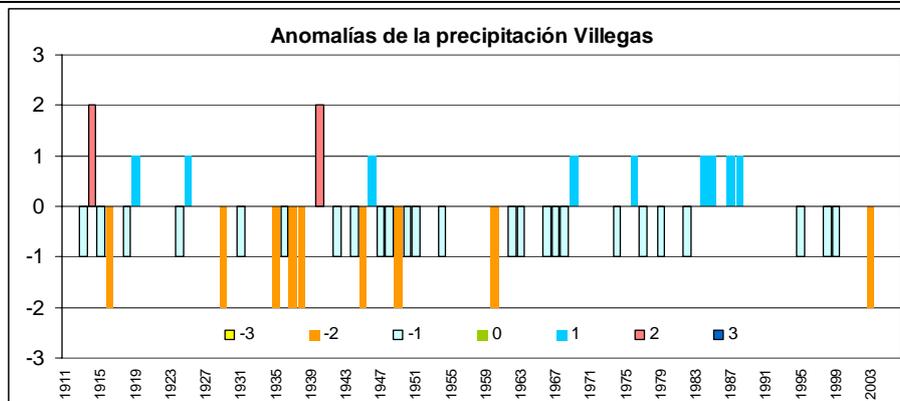


Figura 4.12 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías entre 1927 y 2006, Villegas, Buenos Aires

Equivalencias: Años lluvioso en extremo, 3; Muy lluvioso, 2; Lluvioso, 1; Normal, 0; Seco -1; Muy seco -2; Secos en extremo, -3.

Se aprecia entonces, que los aportes de esta localidad, ubicada aguas arriba de la región noroeste (pampa arenosa), según la dirección general de la escorrentía regional, con pendiente oeste-este de 0.25‰ en promedio (extremos entre 0.08 y 0.3‰), y relieve poco marcado (Dillon *et al.*, 1987; Iacobucci, 2000) (punto 1.1), que es el que contribuye en forma marcada a la escorrentía que se indicó corre en “manto” por las depresiones inter-medanosas o inter-dunas del área de estudio durante la época de inundación, tal como se indicó en los antecedentes y Geomorfología (puntos 2.2. y 2.1.2.1, respectivamente). Al respecto se destaca, que tal como se analizará al presentar los resultados del procesamiento digital de imágenes, es fácilmente observable en forma visual, la conexión de las unidades geomorfológicas denominadas,

cubetas de deflación (lagunas), y depresiones inter-medanosas, como un continuo de agua que avanzando desde el norte y cubre un amplia superficie del área de estudio. No obstante, no todo este aporte proviene de la lluvia, tal como se discutirá en puntos siguientes. La falta de correspondencia de la precipitación de esta localidad con las inundaciones producidas, son prueba de aporte de agua otros sitios.

4.1.2.2 Lincoln

Este partido se ubica al noreste de la región del presente estudio tal como se aprecia en la las figuras 2.22, y 4.7 (coordenadas geográficas GK 34°51'54"S, 61°31'55"O, y 76msnm). Para un período de 50 años Lincoln tiene un promedio anual de precipitación de 860mm (Tabla 4.11) con picos de lluvias en los meses de otoño y primavera (Tabla 4.12), la evapotranspiración potencial anual se ubica en aproximadamente 850mm (Tabla 4.13). La concurrencia del clima y la fisiografía ha provocado un aumento progresivo del nivel de la capa freática, elevándola desde 8 y 10m (década de 1970) hasta cerca de los 2m en la actualidad, perdiendo capacidad amortiguadora ante excedentes hídricos.

Así, a mediados de 1998, el 40% del partido se encontraba inundado, situación que aunque ha mejorado actualmente, aún persisten los daños en el sector agropecuario, siendo urgente que se realicen intervenciones integrales o definitivas que permitan revertir o atenuar los efectos negativos a la sociedad, degradación física y química del suelo, enmalezamiento, deterioro y pérdida de la infraestructura y pasturas, mortandad de hacienda, pérdida de cosecha etc., estimándose las pérdidas para el año 1993 por US\$17,000,000 (Municipio de Lincoln, 2007).

En Tabla 4.11 se presenta la precipitación media anual para el periodo 1969-1996 (P, mm) y en la Tabla 4.12 la precipitación mensual y anual entre los años 2000-2004.

Tabla 4.11 Precipitación media anual para el periodo 1969-1996, Lincoln, Buenos Aires (P, mm) (fuente Municipio Lincoln)

año	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
P	989	839	1018	818	1172.5	823	1313	1241	859.6	1128	876	946.7	847	1104
año	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
P	1012,6	872.8	911	821.5	1220.5	100.4	894	1001	1260	822	1425	822.2	846	1030.8

Los años con precipitación anual normal se alternan años con precipitación que supera los 1,000mm. Para el periodo 1969-1996, la precipitación es superior a 800mm, prevalecen los años normales y en un total de 11 años, se superan los 1,000 mm. Sin embargo, esto se da en general en un año que se alterna con lluvia normal, el periodo más prologado con precipitación elevada se produjo entre 1973 y 1976. El mínimo de precipitación media anual fue próximo a 800mm, y se ubica en valores normales; el máximo de 1,313 mm fue para el año 1975. El promedio para 1969-1996 es de 996 mm. En la Tabla 4.12, se presentan valores para el período, 2000-2004, siendo este, otro de los períodos que en forma continua presenta elevada precipitación. La media para el periodo 2000-2004 fue de 1,235mm, se destaca particularmente el año 2001 y 2002, con 1,408mm y 1,554m respectivamente.

Para esta localidad, en este último ciclo toman valores importantes en precipitación, y consecuentemente, podrían tener un correlato con las inundaciones acaecidas, sin embargo, los valores presentados en Tabla 4.11 para el periodo 1983-1996, no resultan tan elevadas como para relacionarlas en forma directa con la magnitud de las inundaciones registradas.

En Tabla 4.13 se presenta una situación promedio de evapotranspiración potencial (EP) y real (ER), y en Figura 4.13 se da un ejemplo de distribución de precipitación (extraída de Municipio de Lincoln, 2007). La precipitación se concentra en meses de primavera-verano, y son mínimas

en invierno. Para el ejemplo, de la evapotranspiración potencial presentada y lluvias mensuales, se aprecia que en este caso, en los meses con mayor precipitación el balance es positivo.

Tabla 4.12 Precipitación mensual y media anual entre los años 2000-2004, Lincoln, Buenos Aires (mm) (fuente, Municipalidad Lincoln).

mes/año	2000	2001	2002	2003	2004
E	60	164	139	45	182
F	104	56	35	205	25
M	95	402	461	30	50
A	134	113	54	211	167
M	320	68	94	37	68
J	16	39	1	17	1
J	0	7	18	125	72
A	8	93	99	22	63
S	39	120	41	27	0
O	249	226	132	71	97
N	131	93	261	114	144
D	2	27	219	86	196
Total	1,158	1,408	1,554	990	1,065



Figura 4.13 Ejemplo de distribución de precipitaciones en el partido de Lincoln (Extraída de Municipio de Lincoln, 2007) www.noroestebonaerense.com.ar/PARTIDOLINCOLN/PartidoLincoln

Tabla 4.13 Situación promedio de evapotranspiración potencial (EP) y real (ER) mensual (mm),

mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EP	136	99	82	57	36	22	19	29	41	70	94	127
ER	133	99	82	56	36	22	19	29	40	70	94	127

Lincoln, Buenos Aires (fuente, Municipio de Lincoln, 2007).

4.1.2.3 Leandro N. Alem

Este partido integra el noroeste de la provincia de Buenos Aires, y se ubica al noreste del área de estudio (Pehuajó y Trenque Lauquen) tal como se aprecia en Figura 2.1 y 2.3, y en Figura 4.7 donde se indica la ciudad de Vedia, capital de este departamento; sus coordenadas geográficas GK son 34°30'00"S, 61°23'00"O, y su altura es de 70msnm.

En Tabla 4.14 se presentan los valores promedio de los meses y años del periodo 1991-2004, en la localidad de Alem y en la Figura 4.14 se hizo la gráfica con los valores de la tabla (extraída de INTA Trenque Lauquen); se aprecia que la precipitación se concentran en otoño (marzo, abril), y fin de primavera-principios de verano (noviembre, diciembre, y enero).

Tabla 4.14 Promedio de los meses y años del periodo 1991-2004, en Alem, Buenos Aires

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Prom.
1991-2004	129.2	79.3	134.5	126.0	77.9	33.1	27.3	38.5	41.4	133.6	109.4	143.4	1073.4

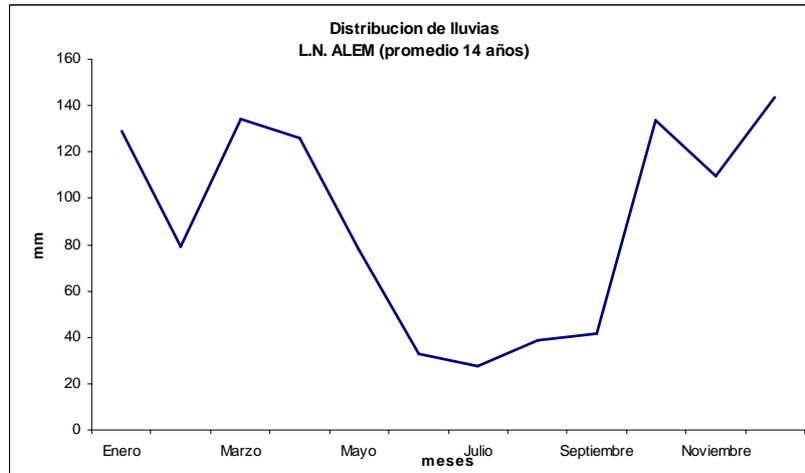


Figura 4.14 Promedio de precipitaciones mensuales entre 1991-2004, Alem, Buenos Aires.

En la Tabla 4.15 se presenta una comparación de precipitación media anual de los partidos de Lincoln y Alem, para el período, 2000-2004.

Tabla 4.15 Precipitaciones medias anuales de los partidos de Lincoln y Alem, entre 2000-2004. (Municipalidad de Vedia).

	2000	2001	2002	2003	2004
Lincoln	1158	1408	1554	990	1065
Alem	1087	1346	1203	820	880

En ambas localidades, los valores son de altos a muy altos hasta el año 2002; Alem retoma a valores normales y en Lincoln se mantienen los valores de precipitación más elevados. Los valores reportan una tendencia similar en ambos sitios, siendo el menor el registrado en el año 2003. El valor mayor se registró en Lincoln el 2002 (1,554mm) y de 1,346mm para Alem en el 2001.

4.1.2.4 Carlos tejedor, Henderson, Salliqueló

A continuación se presentan las Figuras 4.15, 4.16. y 4.17 que muestran las gráficas de la precipitación media anual (mm) para los partidos de Carlos Tejedor, Henderson, y Salliqueló, respectivamente, las figuras fueron realizadas con información extraída de INTA Trenque Lauquen.

Carlos Tejedor, presenta valores superiores a los 800mm, y una ligera tendencia creciente a precipitación mayor alrededor de la década de 1970, con valores hacia 1990 que superan los 1,000mm, esto también sucede a principios del siglo (1911-1915). Los valores más elevados de precipitación se intercalan con épocas más secas, con valor cerca de 600mm hasta 1983, a partir de los 1980's, los valores bajos son de 800mm.

Henderson, la tendencia de aumento hacia finales del siglo XX es menos marcada que en Salliqueló, ya que en Henderson, el siglo se inicia con valores más altos de precipitación que en este último partido, aunque semejante a Carlos Tejedor. Así entre 1910 y 1920, se superan en varias oportunidades los 1,200mm de precipitación, a mediados de siglo se superan los

1,400mm; hecho que se reitera hacia la segunda mitad de 1980 (hacia 1985). Los periodos secos, al igual que en Carlos Tejedor, se ubican entre 600-800mm en todo el periodo analizado.

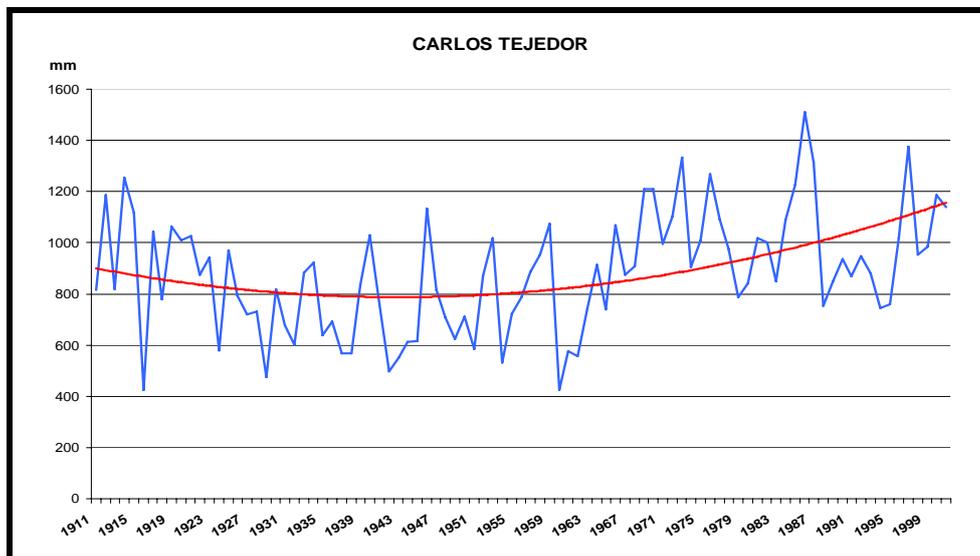


Figura 4.15 Precipitaciones medias anuales entre 1911 y 1999, Carlos Tejedor, Buenos Aires (línea roja indica la tendencia) (extraída de INTA Trenque Lauquen)

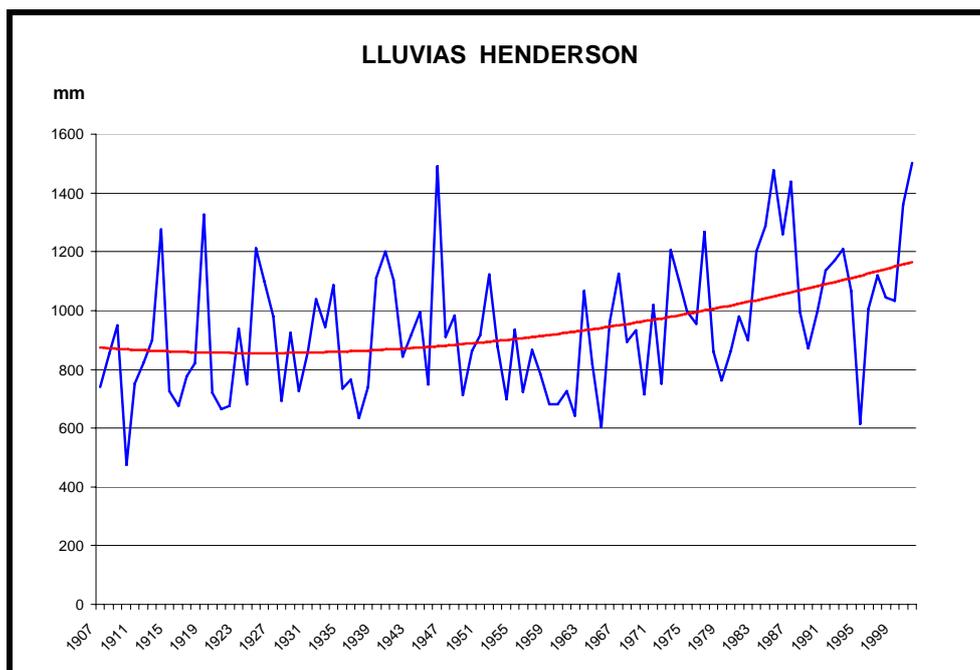


Figura 4.16 Precipitaciones medias anuales entre 1907 y 1999, Henderson, Buenos Aires (línea roja indica la tendencia) (extraída de INTA Trenque Lauquen)

Salliqueló (coordenada geográfica GK 36°45' S 62°50' O), el último ciclo húmedo se inicia aproximadamente a partir de 1983, se superan los 1,100mm e incluso algo más de 1,200 pero se intercala con años con precipitación normal. Se aprecia además, que en este ciclo húmedo, los años más secos presentan disminuciones más marcadas. Se produce también a principio de siglo, elevada precipitación, por ejemplo para 1920 se registra precipitación de 1,200 mm, tal como en 1986 y en años posteriores.

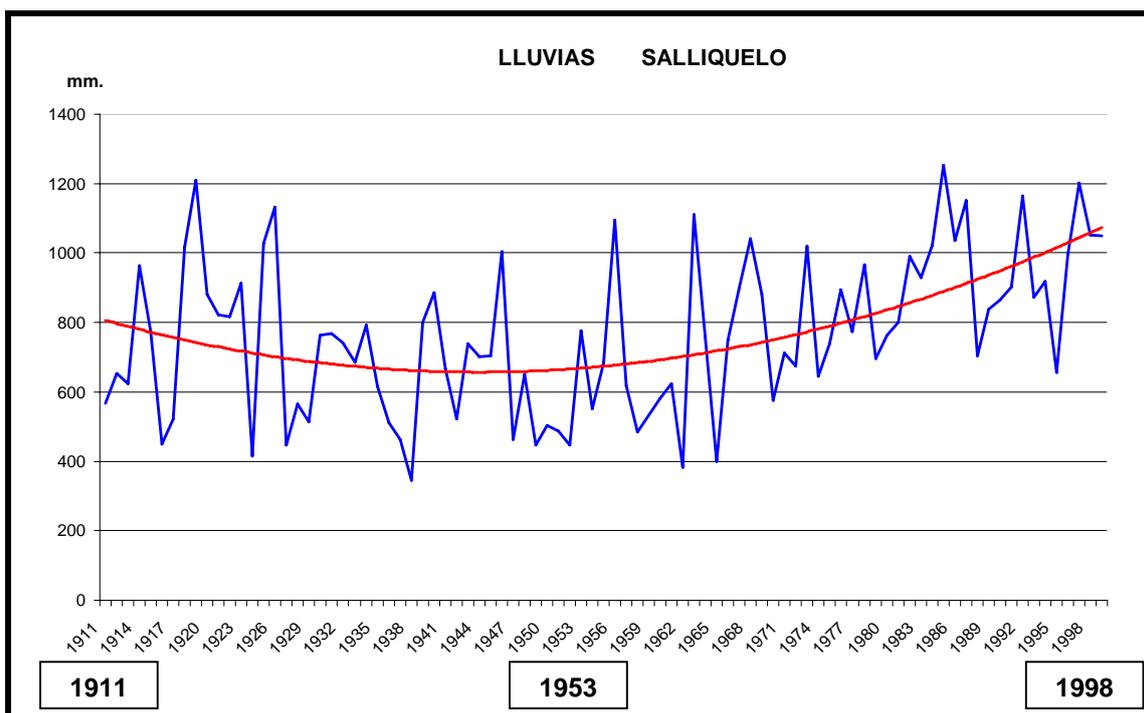


Figura 4.17 Precipitaciones medias anuales entre 1911 y 1998, Salliqueló, Buenos Aires (línea roja indica la tendencia) (extraída de INTA).

Se observa claramente, que aproximadamente hasta la década de 1965-1970, en años secos se dan valores anuales inferiores a 400mm. Al contrario, a partir de cerca de 1970, los periodos más secos presentan un valor mínimo entre 600 y 700mm.

Se concluye, que tal como indican los autores, las tres localidades presentan una tendencia de aumento del valor promedio anual de precipitación (línea roja), mostrando un corrimiento de las medias desde aproximadamente 800mm a valores próximos a 1,000mm, hacia la década de 1990. Sin embargo, tal como se apreció en el resto de las localidades hasta aquí analizadas, se producen marcadas variaciones entre años consecutivos, retomando a valores normales e incluso años secos.

Sin embargo, se destaca que a partir de 1970-1980, según el caso, las disminuciones en precipitación en los años más secos son menores, tendiendo a dar valores medios más altos que en la primera mitad del siglo analizado. Encontrándose que por el contrario, los años más húmedos, superan los 1,000mm en estas tres localidades, incluso se observa una precipitación promedio de 1,200-1,400mm en Carlos Tejedor y Henderson.

Esto es semejante a lo que se produjo a principios de siglo (década de 1910) con valores que superaron los 1,000mm, y es coincidente con lo observado en otras localidades, a principios del siglo donde hubo otro período relativamente húmedo, luego muy seco, aumentando paulatinamente y en forma variable según la localidad desde la década de 1970-1980.

4.1.2.5 9 de Julio

En la Tabla 4.16 se presenta para el periodo 1997-2004 la precipitación de 9 de Julio, los cuales se clasifican como *años normales*, según el criterio de anomalía, no obstante, los años analizados se corresponden con el periodo húmedo de la región.

Tabla 4.16 Precipitaciones totales y medias ente 1997 y 2004, 9 de Julio, Buenos Aires.

Mes	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
E	248.0	158.0	71.2	67.9	147.6	99.1	11.3	111.6
F	116.0	122.0	94.5	141.3	71.7	38.3	175.5	34.3
M	74.0	72.0	272.6	54.8	414.8	565.1	133.1	60.8
A	141.0	160.0	39.0	185.5	86.3	55.2	104.0	136.6
M	0.0	103.0	12.9	311.4	58.9	92.8	74.0	29.5
J	187.0	3.0	9.9	19.6	25.2	0.7	15.4	15.8
J	30.0	38.0	47.3	3.8	12.0	28.4	94.5	68.8
A	31.0	11.0	29.4	21.9	121.2	102.6	22.9	69.5
S	71.0	32.0	82.2	34.2	116.9	43.4	52.3	7.2
O	140.0	139.0	53.3	187.2	219.0	140.1	84.3	81.0
N	133.0	89.0	116	120.5	109.7	131.4	135.7	77.6
D	179.0	93.0	90.6	72.1	66.5	118.0	77.1	197.6
total	1,350.0	1,021.0	919.1	1,220.2	1,449.8	1,415.1	980.1	890.3

La precipitación media varía entre un mínimo de 890.3mm en el 2004, y un máximo de 1,449.8mm para el año 2001, lo cual es coincidente con la precipitación regional. En Anexo B-6.3 Tabla B11, se compara este partido con otros de la región, y se aprecia claramente la coincidencia general en la precipitación ocurrida según el año. Así, el año 2001 fue de alta precipitación, y en 2003-2004 disminuye marcadamente en todos los partidos. A diferencia de lo indicado para otros partidos, como Pehuajó (Tabla B7 en Anexo B-6.2), en general no se dan meses con precipitación excepcional, la excepción fue el mes de marzo de 2002 cuando se registró una precipitación de 565.1mm.

4.1.3 Provincia de Buenos Aires, sitio de estudio

4.1.3.1 Pehuajó

Este partido junto a Trenque Lauquen (Figura 2.25), son los dos territorios en los cuales se intensificaron los estudios, por su ubicación central en el área donde ocurren las inundaciones (Figura 2.1, 2.3 y 2.5). En puntos 2.2, se discute lo señalado en la bibliografía referido a las inundaciones, principalmente con lo sucedido en esta localidad y Trenque Lauquen.

En antecedentes (PMI, 1999) se indicó que el clima de Pehuajó se caracteriza por precipitación media anual de 750-900mm, con mínima en junio-julio (15-30mm/mes) y una máxima en enero (mayor a 100-120mm/mes en el este, 65-85mm/mes en el oeste). Período de crecimiento estándar entre 360 días en el este y 330-300 días en el oeste, y un período de humedad estándar de 90 días o menos. Temperatura anual media superior a los 16°C, variando entre una mínima en junio-julio (8.7-9.1°C) y una máxima en diciembre-enero (21.6-22.9°C); nueve a diez meses de cada 12 tienen temperatura promedio superior a 10°C, considerada óptima para el crecimiento de maíz; temperatura mínima media superior a 5°C entre diciembre y marzo (4 meses) para el crecimiento óptimo de maíz, y riesgo de helada desde mayo hasta septiembre (5 meses), especialmente en julio (10días/mes).

En el Anexo B-6.2, se presenta en la Tabla B7 la precipitación ocurrida entre los años 1911 y 2006 en Pehuajó (datos aportados por INTA Pehuajó). A partir de estos valores, analizados según se indicó en materiales y métodos, se obtuvo lo que a continuación se describe.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1911 y 2006, los años se agruparon en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos* o *lluviosos*, y *muy húmedos* o *muy lluviosos*, tal como se presenta en Tabla 4.17 y en la Figura 4.18.

Tabla 4.17 Clasificación de la precipitación entre 1927 y 2007, por Anomalías, Pehuajó, Bs.As-

Año	Clasificación								
1911	seco	1930	seco	1949	seco	1968	normal	1987	lluvioso
1912	normal	1931	seco	1950	seco	1969	seco	1988	seco
1913	muy lluvioso	1932	seco	1951	normal	1970	seco	1989	seco
1914	lluvioso	1933	normal	1952	normal	1971	lluvioso	1990	normal
1915	seco	1934	seco	1953	normal	1972	normal	1991	normal
1916	muy seco	1935	seco	1954	seco	1973	normal	1992	normal
1917	seco	1936	seco	1955	normal	1974	muy lluvioso	1993	normal
1918	seco	1937	muy seco	1956	seco	1975	lluvioso	1994	normal
1919	lluvioso	1938	seco	1957	muy lluvioso	1976	normal	1995	seco
1920	seco	1939	normal	1958	seco	1977	muy seco	1996	normal
1921	seco	1940	normal	1959	seco	1978	seco	1997	normal
1922	seco	1941	normal	1960	seco	1979	muy seco	1998	normal
1923	normal	1942	seco	1961	seco	1980	seco	1999	lluvioso
1924	seco	1943	seco	1962	seco	1981	normal	2000	lluvioso
1925	normal	1944	normal	1963	lluvioso	1982	lluvioso	2001	normal
1926	normal	1945	seco	1964	lluvioso	1983	normal	2002	lluvioso
1927	seco	1946	muy lluvioso	1965	normal	1984	lluvioso	2003	muy seco
1928	muy seco	1947	seco	1966	normal	1985	lluvioso	2004	normal
1929	seco	1948	seco	1967	normal	1986	lluvioso	2005	seco
								2006	normal

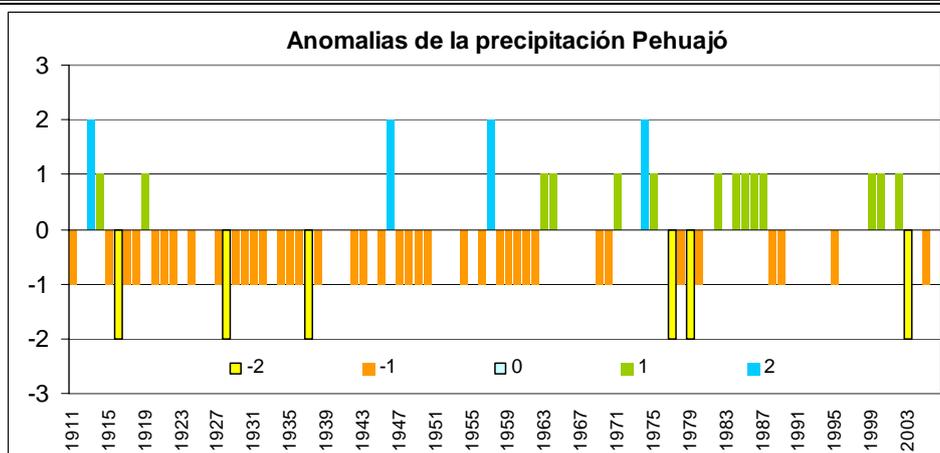


Figura 4.18 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías entre 1911-2006, Pehuajó, Buenos Aires

Se aprecia claramente que en los últimos años, tal como se indica en antecedentes, aumentan la precipitación respecto a la media general del periodo 1911-2006, que fue de 846.4mm (Tabla B7 en Anexo B-6.2), y la región atraviesa en las últimas décadas un ciclo húmedo, que ha alternado históricamente con sequías de variada magnitud desde que se tiene registro. Al respecto, en punto 2.2, se describe lo indicado por diversos autores respecto a los años, ciclos, y forma en que la precipitación conducen a inundaciones (Carballo, 2002; Etcheverry, 2003;

Galetti, 2003a; INTA, 2003; Moncaut, 2003; Paoli y Giacosa, 2003a-b; Spescha *et al.*, 2004; Kruse y Laurencena, 2005; Sallies, 2006).

A partir de la información analizada para la localidad de Pehuajó, en la presente tesis, se aprecia que desde la década de 1970 hasta 1980, se dan 3 años lluviosos, y uno muy lluvioso; y a partir de 1980 hasta el 2002, 8 años lluviosos, que se concentran principalmente en el período 1982-1987, y luego entre 1999 y 2002. Respecto al resto de los años, en el periodo 1970 -2006, se destaca que hubo 7 años secos, 3 muy secos y 16 años normales. Consecuentemente, para los 95 años analizados entre 1911-2006, hubo un total de 14 años húmedos, 3 años muy húmedos, 39 años secos, 7 años muy secos, y años normales en un total de 32 años.

Si bien, los autores mencionados precedentemente, coinciden en que las inundaciones son cíclicas y alternantes con años de sequía, tal como se indicó en punto 2.2, sólo en algunas de estas publicaciones, se hace hincapié en el problema de la sequía; sino por el contrario, se centran en las inundaciones, posiblemente por transitarse actualmente un ciclo húmedo. Sin embargo, no menos importantes resultan los años de sequía, tal como aquí se muestra, y es coincidente con lo indicado por Ameghino (1884), con énfasis contundente, respecto a que el problema de inundación debe ser abordado junto con la problemática de sequías a fin de evitar un agravamiento de estas últimas y conducir a procesos de desertificación con frecuencia hechos por acción del hombre.

La ocurrencia sucesiva de eventos hídricos, tal como los que aquí se presentan, agravados por acciones del hombre, y principalmente su presencia en sitios que antes no ocupaba (Hernández *et al.*, 2003), han hecho que las consecuencias de estos excedentes hídricos por encima de la media tengan características graves hasta catastróficas (Etcheverry, 2003; Maiola y Cacivio, 2003; Moncaut, 2003).

Como se indicó en antecedentes, el INTA (2003) reporta inundaciones para la región en los años, 1973, 1975, 1984, 1985, 1986, 1987, 1990, 1998, 1999 y 2001. Lo cual es parcialmente coincidente con Carballo (2002) que además indica los años 1993 y 2000. Sallies (2006) coincide con algunas de estas fechas con inundaciones e indica que se producen excesos hasta noviembre del 2002. En la localidad de Pehuajó, hubo coincidencia de inundación con año lluvioso en los años 1975, 1984, 1985, 1986, 1987, 1999, y 2000, mientras que los años 1973, 1990, 1993, 1998, y 2001, fueron normales para esta localidad.

En la Tabla 4.18 se presentan los promedios por década, desde 1911 hasta 2007, a fin de establecer su variación. En esta se aprecia que en este partido, los promedios no se incrementan marcadamente en el periodo considerado como de ciclo húmedo en la bibliografía. Así, respecto a la década de 1962-1971 se aumenta en 6.3% en la década de 1982-1991, siendo éste el máximo aumento registrado. En Pehuajó, tal como señaló Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006), respecto a que en muchos sitios el aumento de precipitación comenzó a manifestarse desde la década de 1960, superando los 1,000mm de lluvia anual en 1958, 1963, 1964, y 1968.

Si se considera el incremento respecto a la década de 1970, con una media inferior a la de la década anterior, el incremento es en promedio de 116mm que representa un aumento para el periodo 1970-2000 de aproximadamente 14%. El promedio para los 95 años en la localidad de Pehuajó es de 846mm, valores que son los que actualmente se registran, sin producirse inundaciones. Tal como se indicó en antecedentes, Paoli y Giacosa (2003b) reportan un incremento entre un 5 al 50% de la precipitación en la región pampeana para el período 1970-2000, y específicamente para el sector de estudio entre 10 y 35%.

Tabla 4.18 Precipitación media anual promedio por décadas en Pehuajó

Periodo	Promedio anual (mm)
1911-1921	851.30
1922-1931	766.86
1932-1941	795.09
1942-1951	792.91
1952-1961	795.12
1962-1971	909.20
1972-1981	816.55
1982-1991	966.79
1992-2001	933.27
2002-2007	826.21

Distribución estacional de la precipitación

En este apartado se analiza la distribución de la precipitación en los años con eventos extremos, en forma mensual y agrupada por trimestres. Los cuatro trimestres considerados fueron los siguientes: (T1) Trimestre 1, diciembre, enero, febrero; (T2) Trimestre 2, marzo, abril, mayo; (T3) Trimestre 3, junio, julio, agosto; y (T4) Trimestre 4, septiembre, octubre, noviembre; y el promedio anual para cada año.

En Tabla B8 del Anexo B-6.2 se agrupa por trimestre de todo el periodo, y el porcentaje que representa para cada año cada trimestre. El promedio de distribución para todo el periodo 1999-2007, es el siguiente: T1, 270mm (32%); T2, 256mm (30%), T3, 94mm (11%), y T4, 226mm (27%), con una media general de 846mm, los valores de la última línea de las siguientes tablas son para años muy secos y muy lluviosos.

Los años **muy húmedos**: 1913: 1,309mm; 1946: 1,284mm; 1957: 1,296.8mm; y 1974: 1,295.6mm. Los años **muy secos**, tal como se aprecia en Figura 4.18 y Tabla 4.17 son los siguientes: 1916: 576.2mm; 1928: 590mm; 1937: 516.5mm; 1977: 495.8mm; 1979: 518.2mm y 2003: 441.4mm.

Años muy secos

En la Figura 4.19 se presenta la distribución mensual de años muy secos, y en la Tabla 4.19 y Figura 4.20 se agrupan por trimestres.

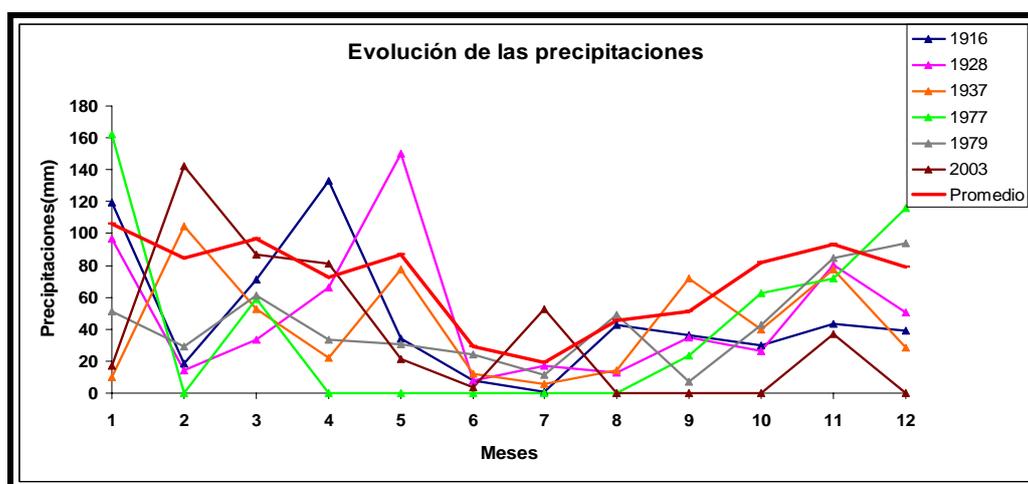


Figura 4.19 Distribución mensual de la precipitación en años muy secos (mes 1 corresponde a enero, y correlativamente hasta 12, diciembre).

Tabla 4.19: Distribución de precipitaciones por trimestres en los años muy secos. (T) Trimestre 1 DEF; Trimestre 2, MAM; Trimestre 3, JJA; y Trimestre 4, SON.

Años secos	T 1		T 2		T 3		T 4	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1916	177.0	30.7	238.8	41.4	51.1	8.9	109.3	19.0
1928	161.2	27.3	249.6	42.3	37.4	6.3	141.8	24.0
1937	143.0	27.7	152.8	29.6	32.0	6.3	188.7	36.6
1977	278.2	56.1	59.3	12.0	0.0	--	158.3	32.0
1979	174.0	33.6	124.8	24.9	84.9	16.4	134.5	26.0
2003	158.9	36.0	189.2	42.9	56.3	12.7	37.0	8.4
Promedio	182.1	35.0	169.1	32.0	43.6	10.0	128.3	24.0
Promedio 1911-2006	270.0	32.0	256.0	30.0	94.0	11.0	226.0	27.0

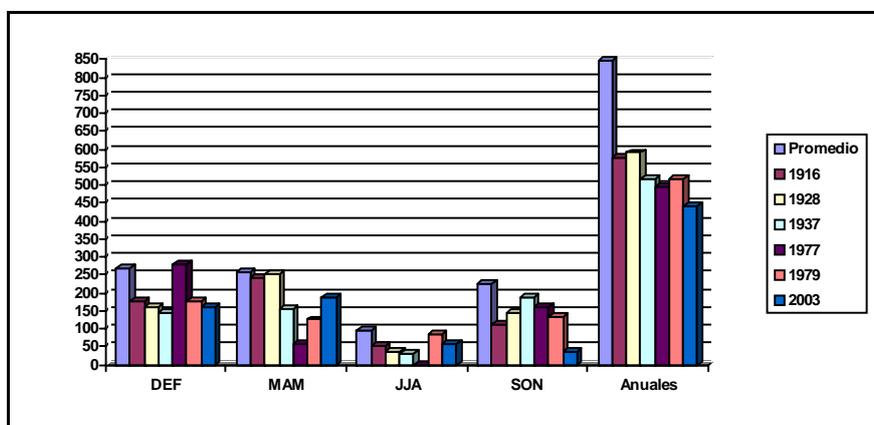


Figura 4.20 Distribución de las precipitaciones de Pehuajó en años muy secos por trimestres Trimestre 1, DEF; Trimestre 2, MAM; Trimestre 3, JJA; y Trimestre 4, SON.

Ameghino (1884) ya indicaba para aquella época este fenómeno de largas sequías, ya que todos los meses se presentan por debajo de la media. En todos los casos la menor precipitación se produce en el tercer trimestre (T3), y para los años 1916, 1979 y 2003 la mayor precipitación se concentra en el T1 y T4. Por el contrario, los años restantes presentan una distribución menos marcada a lo largo del año. Se destaca que en 1977, durante varios meses no se registra precipitación.

Años muy lluviosos

En la Figura 4.21 se presenta la distribución mensual de los años muy lluviosos, y en la Tabla 4.20 y Figura 4.22 se agrupan por trimestres. En esta Figura 4.21 se aprecia que la época más lluviosa de los años lluviosos fue en un número importante de años en otoño, principalmente mayo. En otros años se presentan otros meses más lluviosos, enero para los años 1957 y 1974; y agosto para 1913 (Tabla B7, Anexo B-6.2).

Respecto a la *distribución por trimestre de años húmedos* (Figura 4.22 y Tabla 4.20), se aprecia que en los años **muy húmedos** la precipitación no siguió una tendencia definida, no obstante se destaca que en la mayoría de los casos, la más alta precipitación se dan en los dos primeros trimestres, y al igual que en los años secos y normales, son menores la precipitación en el T3, si bien presentan una participación mayor que en los años restantes. En T4 disminuye la participación porcentual respecto al promedio general para ese trimestre.

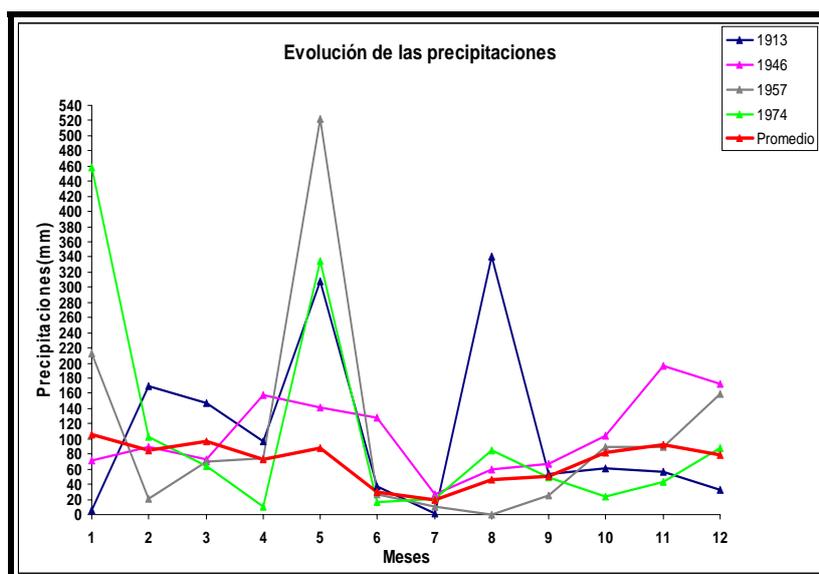


Figura 4.21 Distribución mensual de la precipitación en años muy lluviosos (mes 1 corresponde a enero, y correlativamente hasta 12, diciembre), Pehuajó

Tabla 4.20 Distribución de las precipitaciones en Pehuajó en años muy lluviosos por trimestres. Trimestre 1, DEF; Trimestre 2, MAM; Trimestre 3, JJA; y Trimestre 4, SON

Años lluviosos	T 1		T 2		T 3		T 4	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1913	207,9	15,9	551,3	42,1	378,7	28,9	171	13,1
1946	332,5	25,9	370,6	28,9	213,5	16,6	367,3	28,6
1957	392,2	30,2	664,5	51,2	37,7	2,91	202,4	15,6
1974	648,4	50,0	408,7	31,5	122	9,4	116,5	9,0
promedio	395,2	31,0	499,0	38,0	187,9	14,0	214,3	17,0
Promedio 1911-2006	270	32	256	30	94	11	226	27

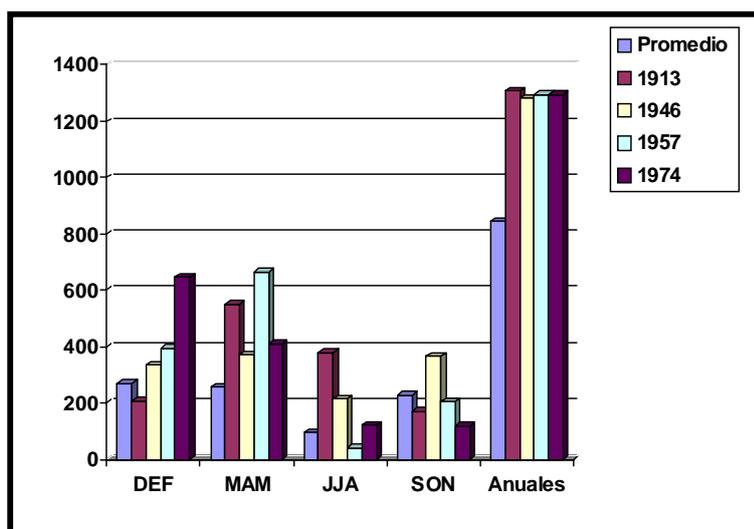


Figura 4.22 Distribución de las precipitaciones en Pehuajó en años muy lluviosos por trimestres. Trimestre 1, DEF; Trimestre 2, MAM; Trimestre 3, JJA; y Trimestre 4, SON.

Respecto a la distribución de precipitación, se destacan los trabajos mencionados en antecedentes y son parcialmente coincidentes con lo aquí obtenido. Así, Spescha *et al.* (2004) quienes analizaron el exceso de agua edáfica en 76 localidades de la Región pampeana para el período 1961-2003, encuentran que el mayor exceso se da en otoño y que existe una tendencia creciente durante los últimos años, coherente con el aumento de la precipitación. Igualmente, en el PMI (1999), se indica que la precipitación se concentra en marzo.

Del análisis realizado se concluye, que el patrón de distribución en los años secos es semejante al de los años normales, debido a que disminuye en todos los trimestres, siendo el más bajo en el T3 (JJA). Por el contrario, se aprecia que el patrón de distribución cambia en los años húmedos, siendo el principal cambio la participación de la precipitación durante el T3 (JJA), aumenta respecto a los años normales y secos. Esto se produce en época de menor evapotranspiración potencial. Asimismo, se destaca que disminuye en el T4 (SON) respecto al promedio general (17% vs 27%). Respecto al mes más lluviosos, tal como se indicó es variable según los años, pero tiende a manifestarse en el mes de mayo, en los años más lluviosos y en forma más distribuida en los años secos, tal como sucede en años normales, con concentración mayor de precipitación en los trimestres T1y T2, y en menor medida en el trimestre T4.

Lo indicado en esta tesis, es coincidente con lo indicado por González y Penalba (en CIMA-CONICET, 2006) principalmente en relación con los años secos, y que la época en que ha aumentado la precipitación en años húmedos es en los meses de verano-otoño, más que en el invierno, si bien no existe un patrón claro. Igualmente INTA Pehuajó indica que los valores históricos en el periodo frío han estado entre 300-200mm (abril-septiembre) y los del mes más cálido entre 600-450mm. Igualmente, estos últimos autores, no encuentran una tendencia clara de distribución en los años húmedos.

En el PMI (1999), se indica que los periodos con más baja precipitación (entre 1911-1996) fue a fines de la década de 1920 y a principios de la década 1960, lo que coincide con lo analizado en la presente tesis, ya que se observa que entre 1920 y 1922 es un periodo seco (excepción 1919, fue muy lluvioso), y desde 1958 hasta 1962 se produce otro periodo seco. Asimismo, es coincidente con este trabajo, respecto al aumento de precipitación entre 1980-1987, así, en la presente tesis, se clasificaron como lluviosos desde 1984 hasta 1987.

Balance hídrico

En Tabla 4.21 se presenta el balance hídrico de Pehuajó para los años 1979, 1996, 1997, y 2001, años elaborados a partir de los valores de Tabla B7, Anexo B-6.2.

El año 1979, fue muy seco (519mm) (Tabla 4.17), y se aprecia para todos los meses un balance negativo, siendo mayor en los meses de verano, enero y febrero, con déficit de hasta 100mm. La evapotranspiración potencial anual fue de 1,050mm. El año 1996, fue un año normal (863mm), al igual que 1997 (883mm) y 2001 (957mm) (Tabla 4.17 y Tabla B7, Anexo B-6.2). En julio y en octubre de estos dos últimos años el balance resulta positivo, mientras que en 1996, el balance positivo es muy bajo en noviembre, y algo mayor, aunque continua siendo bajo, en enero. En el resto de los meses, para todos los años los balances son negativos.

En la Figura 4.23 se presentan gráficamente los balances hídricos de los años 1974 que fue muy lluvioso (1,295mm), y el año 2000 lluvioso (1,093mm) (Tabla 4.17 y Tabla B7, Anexo B-6.2). En estos gráficos se aprecia para 1974, el excedente hídrico que se produce en el mes de enero y mayo, mientras que en el resto de los meses, la evapotranspiración potencial resultó mayor que la precipitación. Se destaca que lo obtenido para 1974, es diferente a lo indicado precedentemente respecto a la distribución de la lluvia, ya que se produjo en este año una concentración de mayor lluvia en dos meses. Por último, en el año 2000, se aprecia que se dan

balances positivos en marzo, y en los meses de primavera, aunque la magnitud del balance positivo, es muy inferior al indicado para 1994.

Tabla 4.21 Balance hídrico de Pehuajó para los años 1979, 1996, 1997, y 2001

1979	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	51.1	29.1	61.1	33.1	30.6	24.4	11.4	49.1	7.4	42.7	84.4	93.8
EVT	150.19	129.11	101.21	72.09	49.51	37.41	38.81	45.29	67.41	112.00	120.21	127.50
balance	-99.09	-100.0	-40.11	-38.99	-18.91	-13.01	-27.41	3.81	-60.01	-69.30	-35.81	-33.70
1996												
P	154.0	70.7	53.0	148.1	63.6	34.0	12.0	12.7	4.1	91.0	136.5	83.5
EVT	139.06	126.21	131.90	82.71	64.05	38.76	36.77	67.52	66.36	99.51	133.08	153.23
balance	14.93	-55.59	-78.90	65.39	-0.45	-4.76	-24.7	-54.82	-62.26	-8.51	3.42	-69.73
1997												
P	93.0	31.0	97.0	87.0	8.0	105.0	10.0	7.0	7.0	225.0	55.0	158.0
EVT	189.29	121.86	119.72	93.54	74.4	44.25	50.5	57.63	64.62	84.16	95.22	134.26
balance	-96.29	-90.86	-22.72	-6.54	-66.4	60.75	-40.5	-50.63	-57.62	140.83	-40.22	23.74
2001												
P	93.0	31.0	97.0	87.0	8.0	105.0	10.0	7.0	7.0	225.0	55.0	158.0
EVT	189.29	121.86	119.72	93.54	74.4	44.25	50.5	57.63	64.62	84.16	95.22	134.26
balance	-96.29	-90.86	-22.72	-6.54	-66.4	60.75	-40.5	-50.63	-57.62	140.83	-40.22	23.74

Cabe destacar, que las mediciones de evapotranspiración potencial adolecen de gran precisión, al utilizar procedimientos estandarizados de cálculo que no necesariamente reproducen lo que efectivamente ocurre a campo, por lo cual los resultados deben considerarse como relativos.

En la Tabla 4.22 se presenta Información agroclimática para Pehuajó (1959-95), y la siguiente información adicional: fecha media de 1º helada, 15 de Mayo; probabilidad de ocurrencia, 14-abril; fecha media de última helada: 29 de septiembre, probabilidad de ocurrencia: 20 de Octubre, y período libre de heladas, 236 días (extraída de PMI, 1999).

Tabla 4.22 Información agroclimática para Pehuajó (1959-95) (extraída de PMI, 1999)

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Tmedia mensual	22.9	21.9	19.5	15.7	12.2	9.1	8.7	10.2	12.5	15.3	18.7	21.6	15.7
Tmáxima media	35.8	34.2	33.0	29.0	25.7	20.6	21.2	25.2	27.2	29.1	32.6	34.8	-
Tmínima media	8.9	7.1	5.9	2.1	-1.8	-3.4	-4.6	-3.3	-1.3	2.3	4.3	8.4	-
Días de helada	0	0	0.1	0.1	2.3	6.2	10.1	5.4	2.2	0.2	0.1	0	-
ETP	174	140	112	69	47	30	34	56	78	102	138	171	1149
P	113	94	108	69	71	29	18	44	60	93	90	89	878

Los valores de temperatura, se relacionan directamente con la evapotranspiración potencial, y debido a la ocurrencia de precipitación en forma más marcada en los meses más calurosos, explica que en la mayoría de los años los balances sean negativos, con déficit hídricos. Esto es diferente en los años lluviosos y muy lluviosos, principalmente porque la mayor precipitación de los meses de otoño e invierno se produce en época de baja evapotranspiración potencial y baja temperatura. Sin embargo, cuando el exceso hídrico se produce en los meses de verano (entre noviembre a marzo), tal como suele ocurrir, la evapotranspiración potencial elevada asociada a las mayor temperatura que se da a partir de noviembre debería impedir el excedente hídrico en superficie.

Si bien es sabido que los cálculos de evapotranspiración potencial son muy imprecisos, en términos comparativos tienen utilidad, y principalmente, permite cuestionarse el hecho de que si gran número de autores indicados en antecedentes (PMI, 1999; Casas, 2003; Krause y Laurencena, 2005; Risiga (en CIMA-CONICET, 2006)) sugieren que la salida del agua del sistema en la región es principalmente por evapotranspiración potencial e infiltración, cómo se explican tantos excedentes con la precipitación que ocurre en cada sitio, o localidades vecinas, si en la mayoría de las situaciones la evapotranspiración potencial supera a la precipitación, y en general en forma marcada. Este es otro elemento que permite afirmar que el agua proviene además de otros sitios, y que los valores de precipitación, y los de evapotranspiración potencial, no explican todo lo sucedido en relación con las inundaciones, el análisis sin duda es más complejo.

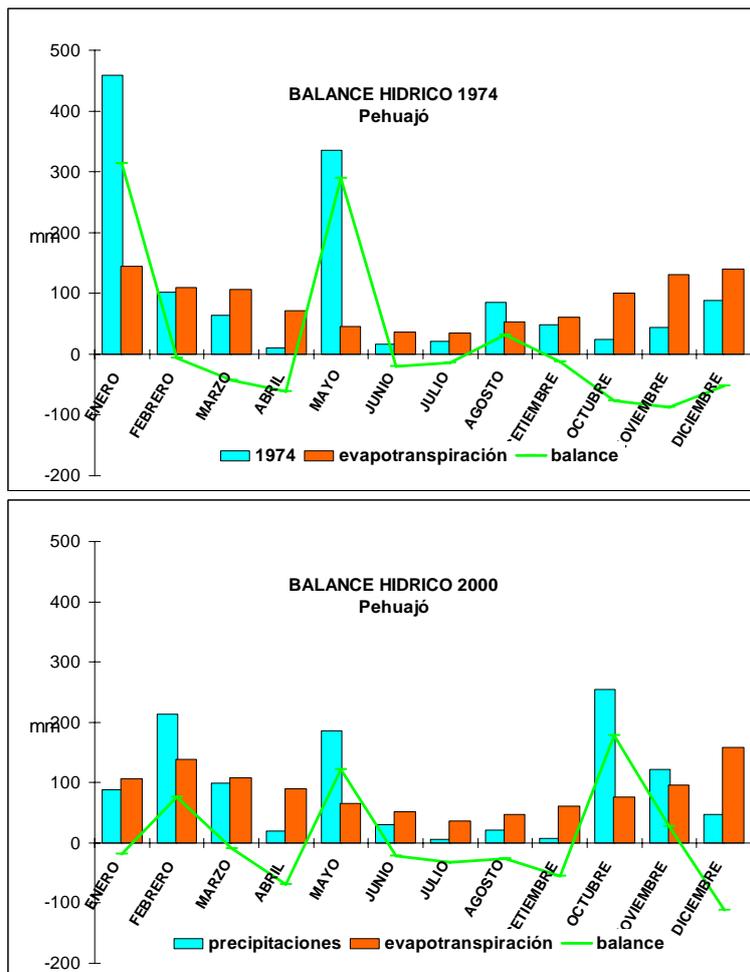


Figura 4.23 Balances hídricos de Pehuajó para los años 1974, y 2000 (extraídas de INTA Trenque Lauquen)

4.1.3.2 Trenque Lauquen

En el Anexo B-6.3 se presenta en la Tabla B9 la precipitación ocurrida entre los años 1911 y 2006 en la localidad de Trenque Lauquen. Estos valores fueron procesados según se indicó en materiales y métodos, y se obtuvo lo que a continuación se describe.

Precipitación-Anomalía

En el periodo comprendido entre 1911 y 2006, los años se agruparon según el criterio de anomalías, en años *muy secos*, *secos*, *normales*, *húmedos* o *lluviosos*, y *muy húmedos* o *muy lluviosos*, tal como se presenta en Tabla 4.23 y en la Figura 4.24.

Tabla 4.23 Clasificación de la precipitación entre 1911-2006, por Anomalías, T.Lauquen Bs.As.

Año	Clasificación								
1911	seco	1931	normal	1951	seco	1971	lluvioso	1991	lluvioso
1912	normal	1932	normal	1952	normal	1972	seco	1992	normal
1913	seco	1933	normal	1953	normal	1973	normal	1993	normal
1914	muy lluvioso	1934	muy lluvioso	1954	seco	1974	muy seco	1994	lluvioso
1915	normal	1935	seco	1955	normal	1975	normal	1995	muy seco
1916	Muy seco	1936	seco	1956	normal	1976	seco	1996	normal
1917	normal	1937	muy seco	1957	seco	1977	normal	1997	lluvioso
1918	normal	1938	muy seco	1958	seco	1978	lluvioso	1998	normal
1919	muy lluvioso	1939	muy lluvioso	1959	seco	1979	muy seco	1999	lluvioso
1920	seco	1940	seco	1960	normal	1980	seco	2000	lluvioso
1921	normal	1941	lluvioso	1961	seco	1981	seco	2001	lluvioso
1922	normal	1942	seco	1962	seco	1982	seco	2002	lluvioso
1923	normal	1943	seco	1963	normal	1983	seco	2003	normal
1924	seco	1944	lluvioso	1964	seco	1984	normal	2004	normal
1925	normal	1945	seco	1965	muy seco	1985	normal	2005	seco
1926	seco	1946	muy lluvioso	1966	normal	1986	lluvioso	2006	seco
1927	seco	1947	seco	1967	normal	1987	lluvioso		
1928	seco	1948	seco	1968	seco	1988	lluvioso		
1929	seco	1949	seco	1969	normal	1989	normal		
1930	lluvioso	1950	seco	1970	seco	1990	lluvioso		

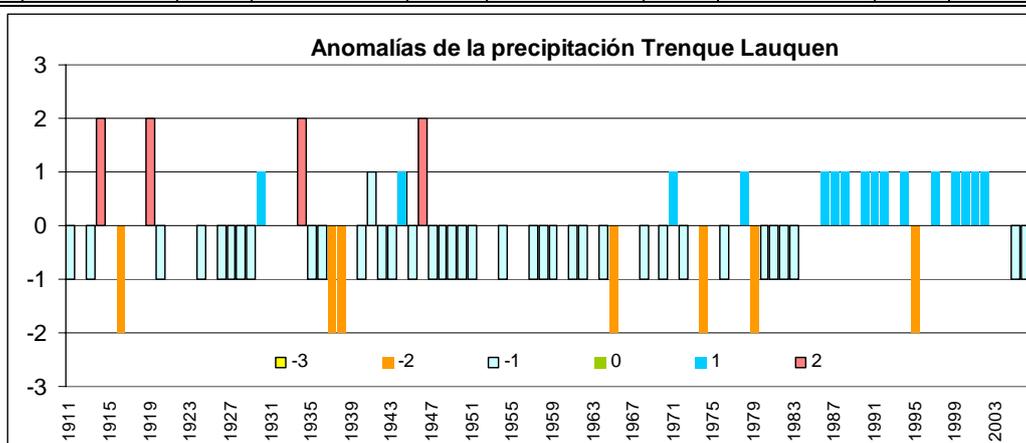


Figura 4.24 Clasificación de la precipitación por criterio de anomalías entre 1911-2006, Trenque Lauquen, Buenos Aires

Se aprecia claramente que en los últimos años, tal como se indica en antecedentes, aumenta la precipitación respecto a la media del período. Así, desde la década de 1970 hasta 1980, se dan 2 años lluviosos, y a partir de 1980 hasta el 2002, 11 años lluviosos (Tabla 4.23). Sin embargo, en ningún caso se producen años muy lluviosos, tal como se registran en forma aislada en años anteriores a las décadas de referencia (total 5 muy lluviosos). Asimismo, se destaca, que para el período de 95 años analizados son muchos más los años secos, total 36, y muy secos, total de 7, mientras que los años normales son 32. Promedio general período 1911-2006 fue de 1,037mm.

Consecuentemente, para el periodo analizado, si se considera sólo el valor de precipitación, las épocas de secas se constituirían en un problema más importante que los excesos hídricos, tal como indicara Ameghino (1884), y se comentó al analizar la localidad de Pehuajó en el punto anterior.

Se destaca para Trenque Lauquen, con mayor precipitación que en Pehuajó, donde el efecto acumulado de exceso hídrico, podría ser aún mayor. En ambos sitios, las características geomorfológicas y geológicas de la región (punto 2.1.2) contribuirían a que esto ocurra tanto más cuanto mayor sean los años consecutivos lluviosos. Así, para la localidad de Trenque Lauquen, el exceso acumulado de precipitación que se producen a partir del año 1985 podría, en la geomorfología de la región, conducir a las grandes inundaciones al encontrarse todo el sistema muy saturado. No obstante, el pico de máxima precipitación se produce en 1919 con 1,881mm, valor que resultó muy superior a los registrados en este último año húmedo.

Como se indicó, la precipitación por encima de la media, y la intervención del hombre, mediante la construcción de obras que restringen el movimiento del agua son determinantes de las situaciones de inundación registradas en el noroeste, que según indicó INTA (2003) se produjeron en los años 1973, 1975, 1984, 1985, 1986, 1987, 1990, 1998, 1999 y 2001. Lo cual es parcialmente coincidente con Carballo (2002) que además indica los años 1993 y 2000.

En el presente estudio, en la localidad de Trenque Lauquen los años indicados de inundación regional, no siempre fueron lluviosos, así, los años 1973, 1975, 1984, 1985, 1993, y 1998; fueron normales clasificados según criterio de anomalías (Tabla 4.23). En coincidencia con las inundaciones generales indicadas por Carballo (2002) e INTA (2003) en Trenque Lauquen se producen años lluviosos en 1986, 1987, 1990, 1999, 2000, y 2001. Puede establecerse que todo el periodo comprendido entre 1986 y 2002 fueron años lluviosos.

En la Tabla 4.24 se presentan los promedios por décadas, desde 1911 hasta la fecha, a fin de establecer la variación en el promedio. En la localidad de Trenque Lauquen el aumento de precipitación fue mayor que el registrado para Pehuajó. Así, se incrementa en un 27% (252mm) en la década 1992-2001 respecto a 1972-1981. Si se comparan los valores obtenidos por décadas para Trenque Lauquen (Tabla 4.25), respecto a Pehuajó, (Tabla 4.18), se aprecia que en todas las décadas los valores medios fueron mayores en Trenque Lauquen.

Tabla 4.24 Valores promedio de la precipitación por décadas en Trenque Lauquen

Trenque Lauquen, periodo	Promedio anual (mm)
1911-1921	1,066.5
1922-1931	984.4
1932-1941	1,018.0
1942-1951	971.3
1952-1961	965.1
1962-1971	1,014.6
1972-1981	936.7
1982-1991	1,202.2
1992-2001	1,190.4
2002-2007	1,008.4

Los aumentos registrados en Trenque Lauquen, son coincidentes con lo indicado por Paoli y Giacosa (2003a) quienes mencionan para el periodo, una media superior según el sitio, *del orden de 200mm.*, que representa un 24% de incremento respecto a la primera parte del siglo XX. Resultados semejantes indican Kruse y Laurencena (2005) quienes señalan un incremento de la precipitación de 150mm/año para los períodos 1941-1970 y 1971-2004.

Distribución estacional de la precipitación en años extremos

A continuación, se presentan los años muy secos y muy húmedos, y se analiza como se distribuyen.

En la Tabla 4.25 se presentan los valores de precipitación mensual y promedio de los años muy secos, y en la Figura 4.25 su representación en un eje de coordenadas indicando 1 a 12, los meses (enero a diciembre). En esta figura se aprecia que en todos los meses hubo una menor precipitación respecto a la media de todo el período (1911-2006), con excepción de enero de 1965 y mayo de 1974. Consecuentemente, la distribución de la precipitación resultó semejante al promedio para el periodo 1911-2006, la precipitación es mayor en verano (diciembre, enero y marzo) y menor durante el invierno (junio, julio, agosto).

Tabla 4.25 Precipitación mensual de los años muy secos, entre 1911 y 2006, Trenque Lauquen

Años muy secos	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1916	132.7	49.1	64.2	56.0	20.7	2.7	0.0	40.3	0.0	25.7	52.9	61.0
1965	280.0	83.8	22.5	62.3	0.0	17.4	20.0	11.1	0.0	68.8	0.0	95.3
1974	0.0	89.9	108.4	48.2	96.0	31.0	9.0	12.0	21.9	88.0	21.0	121.4
1979	137.0	20.0	119.0	45.0	46.0	29.0	21.0	20.0	46.0	41.6	92.8	69.0
promedio 1911-2006	182.6	114.9	131.2	59.2	66.0	27.9	29.3	28.8	52.4	104.4	88.3	152.5

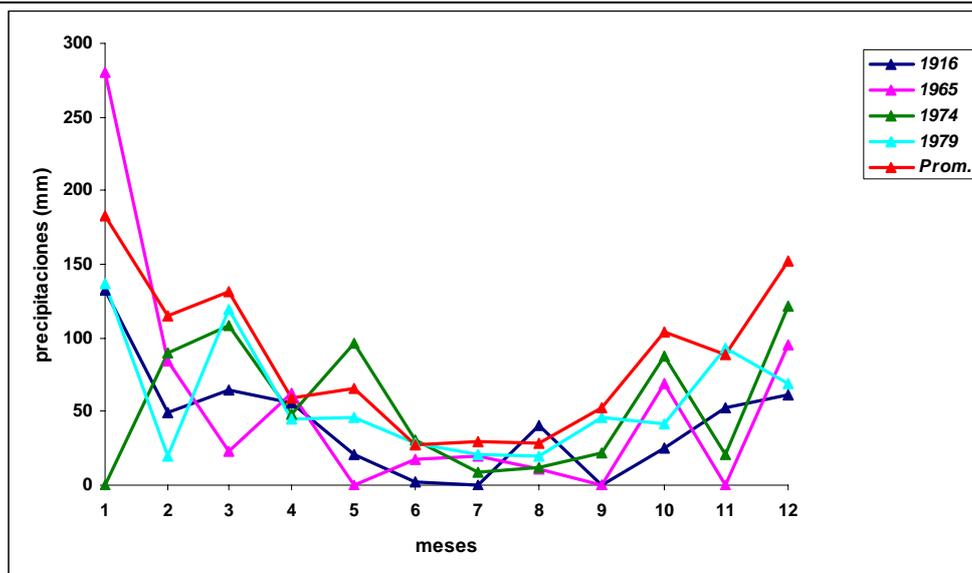


Figura 4.25 Precipitación mensual de los años muy secos, entre 1911-2006, Trenque Lauquen

En la Tabla 4.26 se presentan los valores de precipitación mensual y promedio de los años muy lluviosos y en la Figura 4.26 su representación en un eje de coordenadas, siendo 1 a 12, los meses (enero a diciembre). Se aprecia en estas, que los años muy húmedos presentan un patrón diferente de distribución según los años. Así, 1919 y 1946, relativamente sigue la distribución de la precipitación media, con valores mayores en la mayoría de las fechas. Por el contrario, otros años presentan meses de muy elevada precipitación que se alejan marcadamente de la media de dicho mes, tal es el caso de 1914, 1934, y 1939.

Tabla 4.26 Precipitaciones mensuales de los años muy húmedos o muy lluviosos, entre 1911 y 2006, Trenque Lauquen

Años muy húmedos	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1914	366.8	151.2	30.2	109.2	227.9	42.9	52.1	1.1	30.6	221.0	67.6	253.5
1919	272.7	307.7	243.7	164.5	275.7	84.9	85.5	10.9	40.8	33.9	42.0	318.9
1934	257.8	6.6	130.1	9.8	8.1	9.3	0.0	30.5	90.8	156.3	244.0	676.5
1939	248.6	215.4	97.0	11.6	265.5	52.2	0.0	18.0	165.0	359.3	54.6	149.5
1946	288.5	133.2	105.3	80.1	180.4	156.1	12.5	65.1	73.1	102.6	168.0	358.8
Promedio 1911-2006	182.6	114.9	131.2	59.2	66.0	27.9	29.3	28.8	52.4	104.4	88.3	152.5

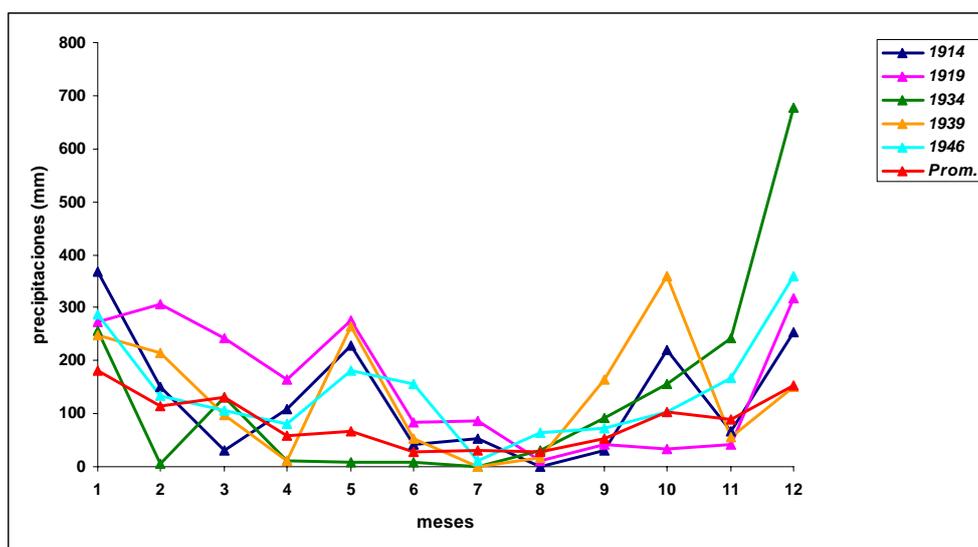


Figura 4.26 Precipitaciones mensuales (mm) de los años muy lluviosos, entre 1911-2006, Trenque Lauquen

Distribución de la precipitación por trimestres

A fin de facilitar el análisis de distribución de la precipitación, y establecer si existe un cambio en la distribución anual de la precipitación por estación, según sean años muy secos, normales o muy lluviosos, los valores de precipitación mensual presentados en Tabla B9, se agrupan por trimestre, tal como se presentan en la Tabla B10 del Anexo B-6.3. Los cuatro trimestres considerados son los siguientes: *Trimestre 1*, diciembre, enero, febrero; *Trimestre 2*, marzo, abril, mayo; *Trimestre 3*, junio, julio, agosto; y *Trimestre 4*, septiembre, octubre, noviembre; y el promedio anual para cada año. Aquí se presentan en la Tabla 4.27 y Figura 4.27 para los años clasificados como muy secos.

Tabla 4.27 Precipitación por trimestres en los años muy secos, Trenque Lauquen Trimestres: T1(DEF); T2(MAM); T3 (JJA); y T4 (SON)

Años secos	T1	T2	T3	T4	Total
1916	242.8	140.9	43.0	78.6	505.3
1965	459.1	84.8	48.5	68.8	661.2
1974	211.3	252.6	52.0	130.9	646.8
1979	226.0	210.0	70.0	180.4	686.4
Promedio 1911-2006	450	256.4	86	245.1	1037.5

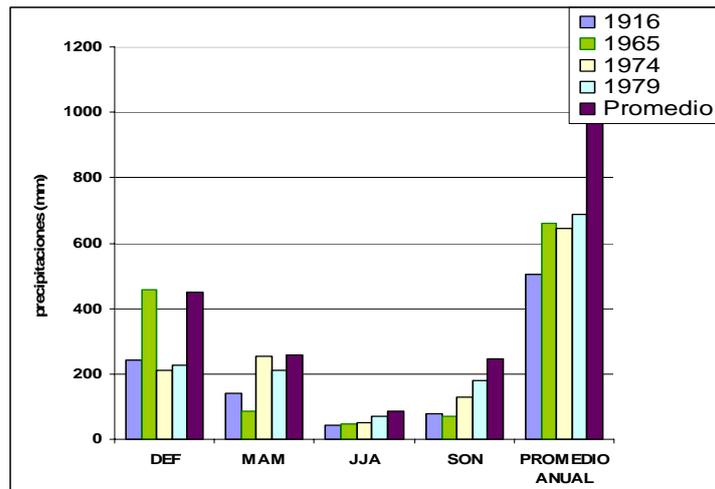


Figura 4.27 Valores promedio para los trimestres T1 a T4 entre 1911 a 2006, respecto a iguales trimestres de los años muy secos (Trimestre 1, DEF; Trimestre 2, MAM; Trimestre 3, JJA; y Trimestre 4, SON), Trenque Lauquen

En la Tabla 4.28 y Figura 4.28 se presenta como se agrupan por trimestre los años clasificados como muy lluviosos. En los años húmedos se aprecia que el valor promedio para todos los trimestres son mayores a iguales trimestres correspondientes a todo el periodo (1911-2006), consecuentemente para todos los trimestres se producen aumentos de la precipitación en los años muy húmedos, respecto a los valores medios de todo el período. En todos los años la precipitación son mayores verano, diciembre, enero, febrero (T1), y menores en invierno, junio, julio, agosto (T3).

Tabla 4.28 Precipitación por trimestres en los años muy lluviosos. Trimestres: T1(DEF); T2(MAM); T3 (JJA); y T4 (SON), Trenque Lauquen

Años húmedos	T1	T2	T3	T4	Total
1914	771,5	367,3	96,1	319,2	1554,1
1919	899,3	683,9	181,3	116,7	1881,2
1934	940,9	148,0	39,8	490,9	1619,6
1939	613,5	374,1	70,2	579,1	1636,9
1946	780,5	365,8	233,7	344,0	1724,0
Promedio 1911-2006	450	256.46	86	245.1	1037.5

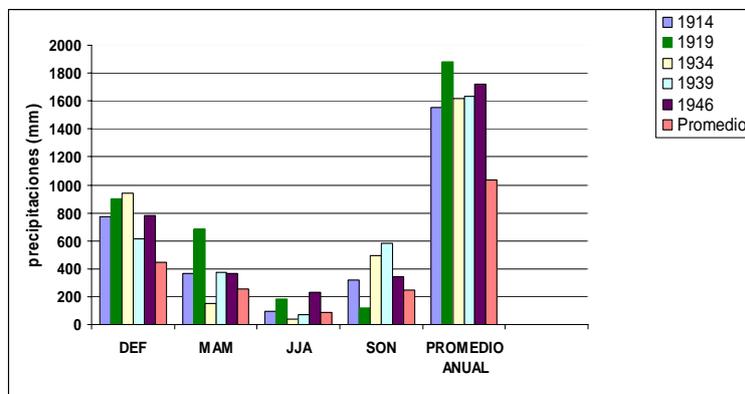


Figura 4.28 Valores promedio para los trimestres T1 a T4 entre 1911 a 2006, respecto a iguales trimestres de los años muy húmedos, Trenque Lauquen.

Balance hídrico

Si se comparan los valores de precipitación (P) con los de evapotranspiración potencial (EVT) en los años muy secos, se aprecia que el balance (B) resulta altamente negativo.

A modo de ejemplo se presentan en Tabla 4.29 el balance hídrico de tres años secos (1965, 1974, y 1976), y de un año lluvioso (2001) (precipitación, P; evapotranspiración potencial, EVT; balance; y profundidad de superficie freática en metros (SF). En la Figura 4.29 se presenta a modo ejemplo, las representaciones gráficas de 1965, y 2001 (elaboradas por INTA, Trenque Lauquen).

Tal como se aprecia en los valores de la Tabla 4.29 y en la Figura 4.29 en el año 1965 se presenta una situación excepcional en el mes de enero, que conduce a un balance positivo, sin embargo, en el año resulta altamente negativo. El año 2001, en los meses de marzo, abril, septiembre y octubre, el balance es altamente positivo, y en mucha menor medida en los meses de agosto y noviembre.

Se aprecia sin embargo, una disparidad en los valores de EVT tan elevada, que podría estimarse que la misma no ha sido correctamente medida. Así, varía entre un mínimo de 790 en el 2001, y un máximo de 1,368mm en el 1965, que si bien fueron un año lluvioso y otro seco respectivamente, en Pehuajó no se presentó estas diferencias para situaciones semejantes. Habría que compararlos con las temperaturas ocurridas para iguales fechas (no se disponen), sin embargo, no es de esperar mayor temperatura en 1965 que en el 2001, ya que sería inverso a lo indicado sobre el calentamiento y la mayor precipitación asociadas a esto.

Al igual que lo indicado para Pehuajó, tan elevados valores de evapotranspiración potencial deberían ser más efectivos en la disminución de agua proveniente de la lluvia en superficie, por lo cual es éste un elemento adicional sobre el aporte de agua de áreas vecinas al sitio. Así, se mencionan entre 150 y 250mm de exceso anual, y el déficit producto de la evapotranspiración potencial es muy superior a esto. Al menos en años secos, donde se indica que la evapotranspiración supera los 1,000mm, debería provocar una mayor disminución del agua de superficie que la que efectivamente se produce, tal como se visualiza en las imágenes satelitales, y se analiza posteriormente.

Tabla 4.29: Balance hídrico de los años 1965,1974, 1979, y 2001 en Trenque lauquen

1965	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P	280.0	83.8	22.5	62.3	0	17.4	20.0	11.1	0	68.8	0	95.3	661.0
EVT	165.9	147.5	269.7	75.4	57.5	38.1	44.2	71	100.4	114.6	148.1	135.7	1368
Balance	114,1	-63.7	-247.2	-13.1	-57.5	-20.7	-24,2	-59.9	-100.4	-45.8	-148.1	-40.4	
1974													
P	0	89.9	108.4	48.2	96.0	31.0	9.0	12.0	21.9	88.0	21.0	121.4	646.8
EVT	134.3	104.8	101.7	72.4	42.4	31.5	29.7	53	59.7	97.8	132.2	136.2	995.7
Balance	-134.3	-14.9	6.7	-24.2	53.6	-0.5	-20.7	-41	-37.8	-9.8	-111.2	-14.8	
1979													
P	137.0	20.0	119.0	45.0	46.0	29.0	21.0	20.0	46.0	41.6	92,8	69.0	686.4
EVT	166.3	127.9	103.0	91.7	69.7	51.6	51.2	67.0	86.1	135.1	144.1	152.9	1246.6
Balance	-29.3	-107.9	16	-46.7	-23.7	-22.6	-30.2	-47	-40.1	-93.5	-51.3	-83.9	
2001													
P	130.0	40.0	200.0	190.0	20.0	10.0	5.0	50.0	160.0	200.0	105.0	95.0	1,205
EVT	140.0	120.0	90.0	40.0	30.0	15.0	15.0	35.0	45.0	60.0	90.0	110.0	790
Balance	-10.0	-80.0	110.0	150.0	-10.0	-5.0	-10.0	15.0	115.0	140.0	15.0	-15.0	
SF	-2.10	-2.40	-2.20	-1.60	-1.70	-1.75	-1.90	-1.95	-1.20	-0.85	-1.10	-1.50	

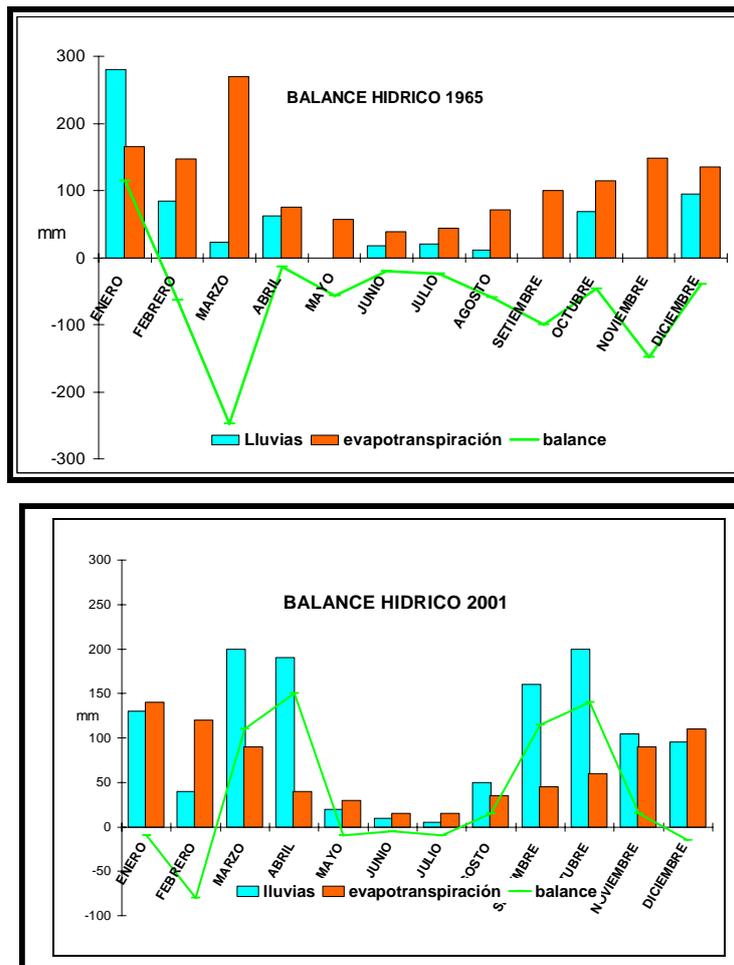


Figura 4.29 Balance hídrico de los años 1965 y 2001, Trenque Lauquen (extraída INTATrenque Lauquen).

En la Tabla 4.30, se presenta un cuadro comparativo entre los años 1997 y 2004, de precipitación anual de alguna de las localidades aquí analizadas. En Tabla B11 del Anexo B-6.3 se presenta un detalle mensual.

Tabla 4.30 Precipitaciones anuales entre 1997-2004 de partidos del noroeste bonaerense

Mes	Alberti	Villegas	Junin	Lincoln	9de Julio	Pehuajo	T.lauquen
1997	1,024	1,068	1,006	1,158	1,350	882	1,323
1998	1,116	866	921	1,011	1,021	986	978
1999	798	895	736	933.8	919	1,033	1,398
2000	1,209	932	1,275	1,094	1,220	1,093	1,385
2001	1555	1,128	1,677	1,342	1,445	957	1,414
2002	1268	1,117	1,321	1,400	1,415	1,136	1,229
2003	1067	490	1,022	923	980	441	1,086
2004	942	947	961	940	890	921.	1,137

4.1.4 Argentina, el clima y sus cambios

A continuación se presentan algunas publicaciones que plantean de un modo general los cambios en el clima y sus efectos en la Argentina, principalmente en su parte central, y en la pradera pampeana.

En punto 2.1.5.3, se presentaron referencias que analizan cambios y variaciones en el clima, y algunos de sus posibles orígenes. Aquí, se hace una enunciación en forma sintética de los aspectos vinculados a cambios efectivos de las condiciones climáticas que los autores mencionan.

En Tabla 4.31 se presentan temperatura mínima media anual y cantidad de heladas anuales en localidades de las provincias de Córdoba y San Luis (extraída Berton *et al.*, en Etcheverría *et al.*, 2006).

Tabla 4.31 Temperatura mínima media anual y cantidad de heladas anuales en localidades de Córdoba (Río Cuarto, Laboulaye, y Villa Dolores), y de San Luis (San Luis y Villa Mercedes) (extraída Berton *et al.*, en Echeverría *et al.*, 2006)

		1951-60	1961-70	1971-80	1981-90
Río Cuarto	Tmin media	10.2	10.9	10.9	11.2
	heladas	13.4	12.1	10.7	28.4
Laboulaye	Tmin media	9.8	10.1	9.7	9.9
	heladas	26.7	27.5	31.5	28.4
Villa Dolores	Tmin media	11.4	12.1	11.8	12.0
	heladas	10.4	8.9	10.2	11
Córdoba	Tmin media	10.6	11.1	10.8	11.2
	heladas	21.2	15.0	17.0	14.1
San Luis	Tmin media	10.2	10.7	11.0	11.1
	heladas	23.4	15.4	13.9	16.1
Villa Mercedes	Tmin media	7.9	7.9	8.2	8.1
	heladas	54.4	55.2	53.4	53.2

Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006) indican:

- No hubo gran variación en la temperatura máxima, lo atribuyen al aumento de la precipitación.
- Hubo cambio en la temperatura mínima, con una disminución de 10% en las heladas, en el número de días con heladas por año, y lo atribuyen al efecto invernal.
- Temperatura media anual en Argentina aumentó cerca de 1°C en el último siglo,
- La década de 1990 fue la más calurosa en el siglo, y 1995, el año más caliente del siglo.
- Cambios en temperatura han ocurrido en todas las estaciones casi por igual, siendo algo mayor en la estación invernal.
- Aumento de precipitación en todo el país data de la década de 1970, destacando que en el sur de Buenos Aires y en La Pampa, comenzó en la década de los 1960.
- El incremento en precipitación es entre 10 y 5% para las estaciones de verano e invierno respectivamente, lo cual ha tenido incidencia significativa en el caudal de los ríos.
- indican el desvío de la precipitación estacional para el periodo 1961-90, respecto al promedio de 1901-1998, el cual fue de 211mm en el verano, y 168mm en otoño.
- 114 sitios del centro de Argentina, principalmente San Luis y provincias vecinas, para 1960 y 1999, indica una variación positiva de la precipitación equivalente al 91% del promedio en el siglo (Figura 4.30).
- concluyen que si bien algunos autores indican que esto es producto de un ciclo húmedo temporario, los autores consideran que debería atribuirse a un “cambio climático” que abarca Paraguay, sur de Brasil y casi toda la Argentina.

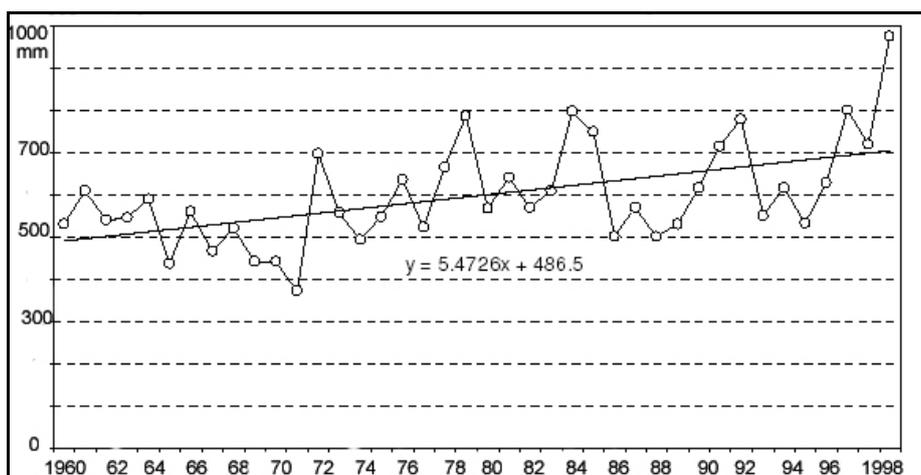


Figura 4.30 Promedio anual de precipitaciones (puntos) y tendencias (línea) en el centro de la Argentina (extraída de Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006))

Sin embargo, estos autores, no explican cual es el origen del efecto invernadero, ya que reconocen que en la Argentina, no hay un aumento de emisiones de gases que favorezcan dicho efecto, y en algunas localidades ha habido incluso un aumento de días con helada, por ejemplo, en Río Cuarto este aumento es importante. Se destaca que las localidades que se indica disminuyó son ciudades que han crecido marcadamente entre 1951 y 1990.

En el Anexo B-7 se amplía este tema de cambios en el clima y orígenes, a nivel mundial en general, y Argentina en particular. En dicho anexo, se presenta lo señalado por Magrin (2007), quien es Coordinadora del Capítulo de América Latina del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de Naciones Unidas. Este autor, asocia los cambios del clima, con la producción agropecuaria, deforestación, y degradación de tierras. Sin embargo, en su análisis, no incluye factores socio-económico y políticos, que posiblemente sean un factor más importante en la expansión de la frontera agropecuaria que la atribuida a cambios en el clima, además, los cambios deberían analizarse en un referente más amplio, en tiempo geológico o al menos, de varios siglos.

Asimismo, en el Anexo B-7, se presentan otros antecedentes que completan el presente tema para **la región pampeana** (González, 1993; Ravelo *et al.*, 2000; Fernández-Long *et al.*, 2004; Coronel y Sacchi, 2005).

Por último, se presenta para este punto lo indica por Aiello (2005) sobre el **Cambio observado en el clima, proyectado, y sus impactos**, a nivel mundial y en especial para la Argentina, que es coincidente con muchos de los autores mencionados, y resume lo indicado precedentemente respecto a los cambios observados en el clima:

- Hay un aumento en la concentración del anhídrido carbónico a partir de 1800, y un calentamiento de **continentes y océanos** de 0.2° 0.4° y 0.8°C por década.
- Los continentes se van a calentar más que los océanos, particularmente en altas latitudes, y el promedio global de la temperatura en el 2085 se piensa estará en 3.1°C por encima de la actual. Esto modificaría los sistemas de vientos, de precipitación y, por lo tanto, hay escenarios para la agricultura para los próximos 20-50 y 100 años. El incremento de la temperatura se da entre 1.0°C y casi 6.0°C por estos modelos que están dando estos resultados para el 2050 y el 2100.
- El **continente sudamericano** tendría en cuenta un incremento de precipitación de 5 a 10mm anualmente, es decir que seguiríamos en un impulso húmedo. Hay un incremento en la intensidad y frecuencia del fenómeno "El Niño" en los últimos 30 años.

- Cuando está “El Niño” hay una respuesta en las lluvias entre octubre y marzo, destacándose diciembre y febrero en los que hay un impacto húmedo importante en el Hemisferio Sur, desde el Mato Grosso hasta el centro de Buenos Aires, abarcando también el norte de La Pampa. Hay un incremento de la precipitación en el 80% de los casos.
- En “La Niña” es a la inversa, hay una respuesta negativa en las lluvias. la mejor respuesta del fenómeno se tiene en Entre Ríos y hacia el noroeste, mientras que en La Pampa se diluye.
- En **Argentina** en el último siglo disminuyó la amplitud térmica (mínimas menos mínimas y máximas menos máximas), y hay cambios en los patrones de la lluvia, se tornó más húmeda y con menor amplitud térmica, hay un aumento en el nivel del mar.
- En la **pradera pampeana** tuvo un incremento del 30% en la precipitación anual en los últimos 30 años.
 - ⇒ Esa tendencia de incremento es explicada por el aumento en el período estival (octubre a marzo).
 - ⇒ El balance hídrico para calcular el almacenaje medio para la región, definiendo para los suelos típicos de la misma 70mm de almacenaje como nivel de sequía absoluta y 125mm como nivel de sequía condicional, se observa que entre 1913 y 2004 hay una variabilidad importante. Pero desde 1970 a la fecha no hubo almacenaje con sequía absoluta ocurrida en épocas cálidas, si bien hubo predominancia de valores altos y ha incidido en la recarga de los acuíferos como en la agricultura.
- Se destaca que el fenómeno de “El Niño” no explica todo en cuanto a la ocurrencia en el aumento de la precipitación. Hay otros factores más cercanos a la región pampeana que superponen la influencia de “El Niño” o “La Niña”. Es trascendente saber qué pasa en el océano Pacífico sur, en el océano Atlántico sur, en el Mar Argentino; cómo es la humedad que viene de Paraguay y sur de Brasil, y como es la longitud de las ondas atmosféricas.

RESUMEN RESPECTO AL CLIMA

En el país en general

- *Argentina ha tenido* en el último siglo un cambio en los patrones de lluvia, con una tendencia general en los últimos años al aumento de condiciones húmedas en algunas regiones (centro y noreste de Argentina), y disminución de la precipitación en otras regiones (sudoeste de Argentina)
- Hay consenso en establecer que en donde hubo aumento de precipitación éste data de aproximadamente de la década de 1970, y en algunos sitios comenzó ya en la década de 1960, incluso 1950.
- A nivel país, el incremento en precipitación se estima en promedio entre 5 y 10% para las estaciones de invierno y verano respectivamente, lo cual ha tenido incidencia significativa en el caudal de los ríos de la zona cordillerana y centro del país.
- La temperatura media anual en Argentina aumentó cerca de 1°C en el último siglo, la década de 1990 fue la más calurosa en el siglo, y 1995, el año más caliente del siglo.
- Cambios en temperatura han ocurrido en todas las estaciones casi por igual, siendo algo mayor en la estación invernal.
- Disminuyó la amplitud térmica, por mínimas más altas y máximas más bajas
- La variación en la ocurrencia de heladas es importante, se han producido cambios en fechas de inicio, finalización, duración e intensidad, pero no hay un patrón claro sobre como esto ocurre, en algunos sitios ha disminuido la severidad, en otros sitios no ha habido cambio.
- El cambio del clima ha sido en general favorable para el país al aumentar la superficie con posibilidad de producción agropecuaria, y aumentar el rendimiento de cultivos y pastura. Se destaca que el país presenta aproximadamente un 75% de su superficie con condiciones generales de aridez-semiaridez. La pradera pampeana es donde se centra la producción agropecuaria (granos y ganadería vacuna), las provincias restantes aportan

menos en estos productos, y son productoras de otras materias primas agropecuarias, carne ovina y otras, lana, frutas frescas y secas, y productos elaborados a partir de estos, entre otros.

En Mendoza, San Luis, La Pampa, Córdoba, Buenos Aires, y pradera pampeana en general

- Hubo cambios climáticos históricos, que dieron lugar a las unidades principales del relieve, y a los sistemas fluviales del territorio durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno, con alternancia de período: cálido y húmedo; frío y seco; y por último un nuevo período frío y de extrema aridez que da origen al campo de dunas que es característico en La Pampa y noroeste de Buenos Aires (área de estudio).
- En 1876 hay datos de dunas activas en la región de Trenque Lauquen y Pehuajó. Estas dunas fijadas en esta era, removilizadas en 1930, fines de 1950 y ahora fijadas, forman parte de una región triangular con vértice en La Flores (centro de Buenos Aires) y los otros 2 vértices que limitan con La Pampa y Córdoba. Las Lagunas Encadenadas del oeste bonaerense quedaron reducidas por la falta de lluvia de la pequeña edad del hielo, mediados del siglo XIX, con disminución de la precipitación y con esto, sequía
- Durante enfriamientos mundiales, en la región pampeana dominaron vientos secos del oeste y del sudoeste, generando la aridez extrema que formó las dunas mencionadas y en los calentamientos mundiales se incrementaron los vientos húmedos del este, aumentaron las lluvias, las dunas se fijaron con vegetación y las lagunas crecieron hasta niveles mayores.
- El centro oeste del país, en el siglo XVII, fue relativamente estable con baja proporción de eventos climáticos extremos en la primera mitad, no así en la segunda mitad que hubo grandes contrastes climáticos. No obstante, en Mendoza se indican sequías severas en muchos años con temperaturas más frías.
- El siglo XVIII hay oscilaciones extremas tanto de sequías como de inundación con una amplia variación espacial. Los periodos secos y húmedos son asociados en una proporción importante a fenómenos de La Niña y el Niño
- En el siglo XIX, también se registran épocas de sequía extrema y alternada con épocas de fuerte lluvia, que también es reportada para la región pampeana en general, especialmente en Córdoba y Buenos Aires.
- En el siglo XX, se producen varios años consecutivos clasificados como secos, y luego varios como húmedos, en forma variada según el sitio. Los valores extremos entre mínima y máximas de precipitación anual son muy marcados
- El ENSO es un fenómeno planetario y existe de manera muy visible en los Andes y sus alrededores, y ha sido registrado desde hace siglos, es un tipo de cambio climático-ecológico cíclico. Entre los siglos XVI y XIX los resultados indican tres manifestaciones muy fuertes (1578, 1728, 1891), doce manifestaciones fuertes (1593, 1596, 1624, 1686, 1701, 1720, 1747-1748, 1791, 1828, 1871, 1877-1878, 1884) y cinco moderadas (1574, 1803-1804, 1814, 1844-1845, 1864), es decir veinte acontecimientos.

Mendoza

- En el siglo XX hasta la fecha, sobre un total de 79 años considerados, se produjeron en forma alterna: 32 años secos, y muy secos, 41 húmedos a muy húmedos, y 6 normales. Se dan varios años seguidos húmedos y otros muy secos, no obstante el promedio de lluvia siempre es muy bajo, promedio general 282.7mm (clima árido).
- El principal impacto en el régimen hídrico en Mendoza está dado por el aumento del caudal de los ríos producido por la anomalía positiva de precipitación invernal, que se da en la cordillera por cambio en la presión, y nevadas asociadas a eventos cálidos ENSO en la Cordillera de los Andes anexa a la provincia de Mendoza
- Las grandes nevazones registran una gran variación en el número, desde el siglo XIX, registrándose importantes nevazones en forma alterna, destacándose, las de 1972 y 1982

que pueden haberse sumado al incremento generalizado de agua de la región central Argentina reportada desde la década de 1970.

- Los caudales mensuales del Río Mendoza han aumentado su valor en eventos cálidos ENSO, principalmente 1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, y las primeras manifestaciones del caso de 1997, con la precipitación de la Cordillera Frontal.

San Luis

- La provincia de San Luis, y provincias vecinas se tuvo un corrimiento de isohietas desde 1950, con mayor precipitación, que afecta cerca de 4 millones de hectáreas, donde actualmente la precipitación anual es mayor a 500mm en los últimos 50 años. No obstante, la aleatoriedad de la lluvia es importante.
- Se produjo el corrimiento del índice de aridez de la provincia hacia el oeste, que tuvo su correlato con la agriculturización.
- La precipitación se sucede con mayor frecuencia e intensidad durante el verano, tanto en las sierras como en la llanura, con un promedio anual de 450 a 500mm, mientras que en el invierno es escasa (entre 20 y 30mm) y a veces, nula.

La Pampa

- En el siglo XX hasta la fecha, en el periodo considerado de 95 años se produjeron en forma alterna 42 años secos, y muy secos, 30 húmedos a muy húmedos y 23 años normales.
- El promedio general es de 657mm, clima semiárido. Los extremos son marcados, entre un mínimo de precipitación anual de 249mm en 1910, y un máximo de 1,122mm en 1963.
- Se destaca un primer período más seco 1921-1970 y luego un período más húmedo hasta 1999. La diferencia entre los dos periodos 1921-1970 y 1971-2006, es de aproximadamente 190mm, y si se considera sólo hasta 1999 es de 247mm de la precipitación anual.

Córdoba

- En Manfredi, en el periodo considerado de 103 años, se produjeron en forma alterna 58 años secos y muy secos, 18 húmedos a muy húmedos y 27 años normales. El promedio medio anual para el periodo 1903-2006 es de 825mm, con promedios extremos de 448mm (1906) a máximo de 2,043mm (1977) El ciclo húmedo, más marcado se produce entre los años 1970-1981, promedio medio anual para ese período de 1,540mm.
- En Laboulaye, 1903-1998, media anual de 798mm (1928-1938, 705 mm y 1988-1998, 952mm) lluvias concentradas en verano. Extremos en 1929 de 356mm, y máximo en 1998 con 1,391mm (amplitud de 1,035 mm),
- Hay un comportamiento cíclico de la precipitación con alternancia de ciclos seco y húmedo con duración entre 25 y 40 años con la existencia de un ciclo seco pasado y otro húmedo actual. Hay un incremento sostenido de la precipitación media anual partir de la década de 1970.
- Laboulaye, es semejante al indicado para Manfredi ya que el aumento en precipitación ha sido mayor, y se diferencian del resto de los sitios analizados, en que en Manfredi, no presenta la alternancia climática de Laboulaye, sino por el contrario, se encuentra concentrado en la década 1970-1981.

Santa Fe

- En Rufino, en los 31 años analizados, prevalecen los años secos (18 años), y 10 años normales, siendo lluviosos y muy lluviosos sólo 4 años (1985, 1991, 1998, 2004). El promedio de precipitación media anual para este periodo 1975-2006, es de 1,020mm (extremos entre 556mm en el 2003, y máximo de 1,614mm en 1991).
- El ciclo húmedo fue de 1986 a 1996, con 960mm, resulta 190mm superior a la serie histórica del sitio. El comportamiento es cíclico, al igual que en los otros sitios analizados.

- La precipitación en Rufino, no se asocian al aumento del área de la Laguna La Picasa, la cual se indica aportar al noroeste bonaerense.
- En general el sur de Santa Fe y Córdoba (Rufino y Laboulaye), de donde estarían entrando aguas por Villegas en Buenos Aires, en los últimos 100 años hasta 1920 hubo un ciclo húmedo con inundaciones, luego un ciclo seco que duró hasta 1970, y luego, un nuevo ciclo húmedo que se agudiza en 1997-1998 a partir del evento denominado Niño y prosiguiendo con precipitación muy alta hasta el presente.

Región de la Pampa Húmeda en general

- La precipitación muestran valores por encima de los normales en los eventos "El Niño" y precipitación por debajo de lo normal en los eventos "La Niña. Sin embargo, estos eventos no explican por si solos el aumento o disminución de la precipitación. Resulta necesario además, estudiar la influencia del océano Pacífico sur, océano Atlántico sur, Mar Argentino; y establecer como es la humedad proveniente del Paraguay y sur de Brasil, y como es la longitud de las ondas atmosféricas. Se indica también, que los fenómenos locales y/o regionales de eventos hídricos extremos tienen una estrecha relación con la circulación atmosférica, y especialmente con sus anomalías, en escala sinóptica y global.
- A nivel regional, y escala plurianual, se observa que a partir de la segunda mitad del siglo pasado, y más acentuadamente a partir de la década de 1970, el incremento en la precipitación media anual para los últimos 30 años fue, aproximadamente, en promedio 30% lo que se traduce en un ascenso del nivel freático a escala regional y recarga al agua subterránea.
- No obstante el incremento de precipitación varía entre 5 y 50% de la precipitación en el territorio pampeano para el período 1970-2000, y específicamente para el sector de estudio entre 10 y 35%.
- No obstante, la alternancia entre periodo muy secos, secos, húmedos y muy húmedos, es marcada. En algunos sitios, es claro el incremento de años consecutivos muy húmedos, o muy secos, en otros la alternancia entre épocas húmedas y secas es irregular.
- En general para las localidades analizadas, los ciclos secos prevalecen sobre los húmedos para los años analizados (aproximadamente 90 años) o no son significativamente inferiores en número a normales y húmedos.

Buenos Aires, Noroeste

Villegas

- En el periodo considerado de 93 años, se produjeron en forma alterna 35 años secos, y muy secos, 11 húmedos a muy húmedos, 47 normales.
- Presenta extremos muy marcados, mínimos de precipitación media anual, inferior a 500mm (1916, 1929, 1937, y 2003), y máximo de 1,639mm (1914). Igualmente otros años particularmente lluviosos, tuvieron valor algo superiores a los 1,300mm (1919, 1940, y 1984).
- El ciclo húmedo en esta localidad recién se inicia en 1984, y fue de tan sólo 4 años, luego continua en sus valores normales, hasta el 2003, coincidiendo con la gran sequía generalizada de las otras localidades.

Lincoln

- Para el periodo 1969-1996, la precipitación es superior a 800mm, prevalecen años normales, y en un total de 11 años, se superan los 1,000mm.
- El periodo más prologado con precipitación elevada se produjo entre 1973 y 1976.
- El mínimo de precipitación media anual, fue próximo a 800mm, y se ubica en valores normales; y el máximo de 1,313mm en 1975. Luego entre 2000-2004, se inicia otro ciclo húmedo con una media de 1,235mm, se destacan particularmente los años 2001 y 2002 con 1,408mm y 1,554m, respectivamente.

Partidos de Carlos Tejedor, Henderson, Salliquelo

- Las tres localidades presentan una tendencia de aumento del valor promedio medio anual de precipitación, la media anual aumentó de 800mm a valores próximos a 1,000mm hacia la década de 1990.
- Sin embargo, tal como se apreció en el resto de las localidades hasta aquí analizadas, se producen variaciones entre años consecutivos, retomando a valores normales e incluso años secos.
- A partir de 1970-1980, según el caso, las disminuciones en precipitación en los años más secos son menores, tendiendo a dar valores medios más altos que en la primera mitad del siglo analizado.
- Los años más húmedos, superan en las tres localidades los 1,000mm, e incluso se tiene precipitación promedio de 1,200-1,400mm en Carlos Tejedor y Henderson.
- Estos aumentos también se dieron en la década de 1910, con valores que superaron los 1,000mm, y es coincidente con lo observado en otras localidades, a principios del siglo hubo otro período relativamente húmedo, luego muy seco, aumentando paulatinamente y en forma variable según la localidad desde la década de 1970-1980.

9 de Julio

- La media general del periodo 1997-2004 fue de 1,155mm.
- Todos los años presentaron precipitación normal (entre 890mm y 1,450mm), si bien se destaca que el periodo regional se corresponde con un periodo húmedo, se analizaron aquí pocos años.
- En este sitio se presenta una variabilidad en la precipitación acorde al resto de la región.

Pehuajó

- La media general del periodo 1911-2006, fue de 846mm.
- Para los 95 años analizados hubo: 39 años secos, 7 años muy secos 14 años húmedos, 3 años muy húmedos, y años normales un total de 32 años.
- A partir de la década de 1970 hasta 1980, se dan 3 años lluviosos, y uno muy lluvioso; y a partir de 1980 hasta el 2002, 8 años lluviosos, que se concentran principalmente en el período 1982-1987, y luego entre 1999 y 2002. Respecto al resto de años, en el periodo 1970 -2006, se destacan que hubo 7 años secos, 3 muy secos y 16 años normales.

Trenque Lauquen

- La media general del periodo 1911-2006, fue de 1,038mm.
- Para los 95 años analizados hubo: 36 años secos, 7 muy secos, 32 años normales y 20 lluviosos y muy lluviosos.
- En Trenque Lauquen los años indicados de inundación regional, no siempre fueron lluviosos
- Desde 1970 hasta 1980, se dan 2 años lluviosos, y a partir de 1980 hasta el 2002, 11 años lluviosos, sin embargo, en ningún caso se producen años muy lluviosos, tal como se registran en forma aislada en años anteriores a las décadas de referencia (total 5 muy lluviosos).
- En Trenque Lauquen el aumento de precipitación fue mayor que el registrado para Pehuajó. Así, se incrementa en un 27% (252mm) en la década 1992-2001 respecto a 1972-1981.
- La precipitación tienden a concentrarse en diciembre, enero, febrero, y hasta marzo, y la menor se da en el invierno.

CONCLUSIONES RESPECTO AL CLIMA

- La alternancia de épocas secas y húmedas con ocurrencia de inundaciones han sido registradas en el noroeste bonaerense desde el siglo XVII hasta la fecha, con variada magnitud.
- Las inundaciones ocurridas en el pasado, se pueden apreciar además en las características de los suelos.

- La ocurrencia cíclica de la precipitación es lo que caracteriza a todas las provincias y localidades analizadas.
- Si bien en muchos sitios la precipitación han tenido un corrimiento de las isohietas, en general nunca han sido mayores a 200mm, pudiendo ser de hasta 250mm.
- En el período analizado de aproximadamente 90-95 años, en la mayoría de los sitios prevalecen los años secos o normales sobre los húmedos.
- Los aumentos se asocian a los eventos de El Niño, y las disminuciones a La Niña, sin embargo, otros factores también inciden y no han sido estudiados.
- Para la primera mitad del siglo XX, prevalecen en general condiciones de sequía, y para la segunda mitad condiciones húmedas, en algunos sitios el ciclo húmedo se inició en 1950, pero en general en estos casos, no perdura hasta estos días, en otros en la década de 1960, ó 1970, algunas aún continúan, si bien, se ha retomado en la mayoría de los sitios a condiciones normales.
- En algunas localidades, los años húmedos han sido frecuentes durante los últimos 30 años, en otros sólo durante 10 años, e incluso algunos menos aún. Los mayores incrementos se dieron en Córdoba, con una amplitud entre valores mínimos y máximos medios de 1,200mm, pero por pocos años.
- Los aumentos de precipitación y nevazones en la zona cordillerana, y su correlato en el aumento de caudal de los ríos ha sido importante, se destacan incrementos en la segunda mitad del siglo, y se vinculan a las épocas cálidas del ENSO. Los aumentos de agua en la región, principalmente caudales en ríos han sido muy importantes en los años que se registran inundaciones en el noroeste bonaerense, por lo cual podría haber incidido en la región del noroeste.
- Los balances hídricos en general son negativos, sólo en aquellos meses con picos muy elevados donde la precipitación supera a la evapotranspiración potencial.
- Los aumentos de precipitación acaecidos en el área de estudio, y sitios vecinos, no explican por si solas, las inundaciones.
- La evapotranspiración potencial en la mayoría de los sitios estudiados debería ser suficiente para contrarrestar al menos la precipitación en exceso.
- Villegas, Lincoln, Carlos tejedor, Henderson en el norte de Buenos Aires, junto al Sur de Santa Fe(Rufino), y Sur de Córdoba (Laboulaye) todos sitios aguas arriba del sitio de estudio (Pehuajó y Trenque Lauquen), no obstante presentan épocas de muy alta precipitación con máximos en algunos casos más elevados que las de otros sitios, éstas no han sido las épocas que prevalecen en su historia climática reciente. En general, estas localidades tuvieron períodos húmedos más cortos, aunque muy elevados, retomando a valores normales e incluso años secos. Por lo expuesto, no pueden asociarse las lluvias como causa directa de las inundaciones observadas en el noroeste bonaerense.
- Tanto en Pehuajó como en Trenque Lauquen, en los últimos 95 años los periodos secos han prevalecido sobre los húmedos, siendo muy alto el número de años considerados normales.
- En Trenque Lauquen los aumentos de precipitación fueron mayores que los registrados para Pehuajó. Así, se incrementa en un 27% (252mm) en la década 1992-2001 respecto a 1972-1981, y tienden a concentrarse en verano (diciembre, enero, febrero, y hasta marzo), y las menores, en el invierno.
- Los cambios en el clima, responden a una variabilidad natural del clima, de alternancias entre secas e inundaciones, y no responde a un cambio climático entendidos estos según se explica en punto 2.1.5.3. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático indica: “por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Al cambio producido por causas naturales, lo denomina variabilidad natural del clima.

- Las inundaciones, aunque se desconoce la magnitud, se producían antes de la Revolución Industrial (1750 y 1820) y consecuentemente, anterior a que haya habido contaminación con gases de efecto invernadero.
- La variabilidad natural, que conduce a inundaciones, ha sido agravada en la pradera pampeana por alteraciones de la superficie del terreno por parte del hombre, por lo que las consecuencias de excesos hídricos resultan catastróficos, el hombre construyó en sitios donde antes había agua, alteró y obstruyó la escorrentía.

4.2 Procesamiento de imágenes

4.2.1 Georreferenciación, y combinación de bandas a fin de resaltar elementos del terreno: algoritmos

Las imágenes *IS Landsat georreferenciadas* mediante el programa *ERPMapper* en coordenadas Gauss Krüger Faja4 Datum Campo Inchauspe, WGS84 o Posgar, fueron corregidas geométricamente, y luego de seleccionar una ventana de trabajo (sub-escena o subset de 7 bandas cortado con archivo vectorial) según procedimiento indicado en punto 3.4, se las procesó mediante 19 *algoritmos* (combinaciones de bandas) a fin de discriminar: cuerpos de agua, humedad, y tipos de suelo asociados, a partir de datos de campo en conductividad eléctrica (CE), RAS (relación de adsorción sodio), pH del suelo, y vegetación asociada, como herramienta para establecer la factibilidad de definir las zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga.

Del análisis visual de todos ellos el que mejor representó la información, comparándola con datos de campo, fue el algoritmo ***Landsat TM Tasseled Cap*** en RGB, que fue el que se procesó en todas y cada una de las imágenes definidas en el paso anterior. El algoritmo muestra las zonas húmedas de color azul intenso, las zonas con vegetación de color azul claro (celestes) y el suelo sin vegetación de color rojo (suelo arado en ocasiones) y/o rosa fuerte (fucsia) según la fecha. Se distingue con mucha claridad que cuando el terreno toma un color con tonalidad marrón-anaranjado (color difuso irregular) es suelo afectado por inundación, con alto valor de CE, principalmente, ese color está compuesto por la reflexión infrarroja de la vegetación y la influencia del rojo del suelo. Se destaca, que es posible observar esto efectuando un acercamiento de las imágenes.

En la Figura 3.3b, se presentaron todos los sitios de muestreo correspondientes al Establecimiento en la localidad de Berutti, Trenque Lauquen (Tabla C1 del Anexo C, sobre imágenes satelitales, las coordenadas x e y; en sistemas Gauss Kruger, y UTM, Universal Transversal Mercator), donde se aprecian los sectores muestreados afectados y no afectados por la inundación en todos los lotes muestreados. Aquí, se presenta en Figura 4.31 y Figura 4.32 un detalle de un laguna de Murphy al sur y al norte, respectivamente, donde se indican algunos de los sitios muestreados, y como el algoritmo utilizado, permite resaltar las diferencias buscadas.

En la Figura 4.31, se hizo a su vez un mayor detalle, del sector correspondiente a 6 muestras, correspondiendo a igual suelo y potrero para cada una de las siguientes muestras: 1A-2NA; 3A-4NA, y 6NA 7A; siendo NA, sector no afectado, y A, sitio afectado en superficie por la inundación. En la Figura 4.31 también se realiza un mayor detalle con muestras: 10A-11NA; 14A-15NA-16A; 17A-18NA; 19A-20NA, y 21NA-22A.

En la Tabla 4.32, se presentan los valores de conductividad eléctrica (CE), pH en pasta, RAS (Relación de adsorción suelo), materia orgánica (MO%) y cationes Ca, Mg y Na solubles (meq/l) (a partir de los cuales se calcula el RAS), de las muestras indicadas en Figura 4.31 y Figura

4.32. En punto 4.3, sobre los resultados en suelo y vegetación, se analiza con mayor detalle lo referido a estos sitios en el Establecimiento de la localidad de Berutti, en Trenque Lauquen.

En la Figura 4.31, se aprecia que si bien no resulta claro separar sectores por nivel de CE, se aprecia el tono más oscuro e irregular en los sitios 3A y 7A con muy elevada salinidad, peladales con salitre negro (suelo desnudo y materia orgánica dispersa por sodio) y/o presentan *Distichlis sp.* y *Salicornia ambigua*, ambas características de condiciones extremas de salinidad-alcalinidad. Por el contrario, en 1A, aunque afectados presenta una CE mucho menor, con pastura en mal estado, el color es uniforme y más tenue (esta muestra es vecina a la Laguna de Murphy, cuya salinidad es de 14,133mg/l, STD). Los valores de pH, RAS y materia orgánica (MO) no revelan diferencia apreciable en las imágenes. El valor muy alto de RAS de 148 de la muestra 7A no se diferencia en la imagen de la muestra 3A con 5.3 de RAS, ambos tienen elevadísima CE, superior a 84dS/m. Los valores de pH son también muy diferentes, así como la materia orgánica. Sea por salinidad, alcalinidad y/o pH, ambos sitios se encuentran altamente degradados y el algoritmo permitió identificar estas áreas.

Por lo expuesto, habría que intensificar estas asociaciones en una mayor cantidad de situaciones contrastantes ya que podría deberse el aspecto de la imagen a la combinación de varias de estas variables, o la presencia de una sola resulta suficiente. Esto es, habría que establecer si un suelo con baja CE o pH, pero alto RAS, o bajo RAS pero alto pH, igualmente permite mostrarse en la imagen estas diferencias (Tabla 4.32).

Por el contrario, los sitios 2NA, y 6Na, toman color celeste (azul claro), la CE en ambos es cercana a 1.4dS/m, pH ligeramente ácidos, y RAS menor a 3. La muestra 4NA, tiene valores algo más elevados, e igualmente toma color celeste, por lo que se aprecia entonces, que salvo cuando se adquieren valores marcadamente altos se aprecia la diferencia (Tabla 4.32)

Respecto a las muestras indicadas en Figura 4.32, se aprecia igual tendencia, sin embargo, se agregan otras situaciones que deberían considerarse. Por ejemplo, la muestra 11NA, con baja salinidad se correspondió con colores celestes definido e intenso, mientras que la degradada toma un color celeste difuso, tal vez en esta forma difusa del color revele su estado degradado (se destaca que la salinidad no es tan alta como en otras situaciones con colores marrón anaranjado).

Otro aspecto a destacar, es el observado entre las muestras 14A-15NA y 16A, las tres en igual fecha, la 16A no revelan su nivel de deterioro, si la 14A; esto posiblemente pueda atribuirse a que en la muestra 16A, el sector se encuentra cubierto con vegetación de *Distichlis sp* y *Salicornia sp* con cobertura total, por lo que no se aprecian sectores con peladales y alcalini negro. Por el contrario, en 14A, hay una situación degradada irregular, con *Distichlis sp*, *Salicornia sp*, peladales y alcali negro.

Consecuentemente, aún con un mal estado del suelo, si este se ha cubierto de vegetación, aunque la misma sea típica de suelos alcalinos, no se detecta en la imagen satelital con los colores indicados. Sin embargo, esto podría deberse, a que si bien la imagen corresponde al momento más cercano posible a la fecha de muestreo, puede haberse arado, y así, las muestras 13NA, y 16A se presentan en ámbitos semejantes. Se destaca que igualmente 13NA que es no afectado respecto a 12A, presenta valores elevados de CE y RAS (Tabla 4.32). La muestra 12A, presenta alta salinidad y alcalinidad, y se manifiesta en tonos marrón-anaranjado.

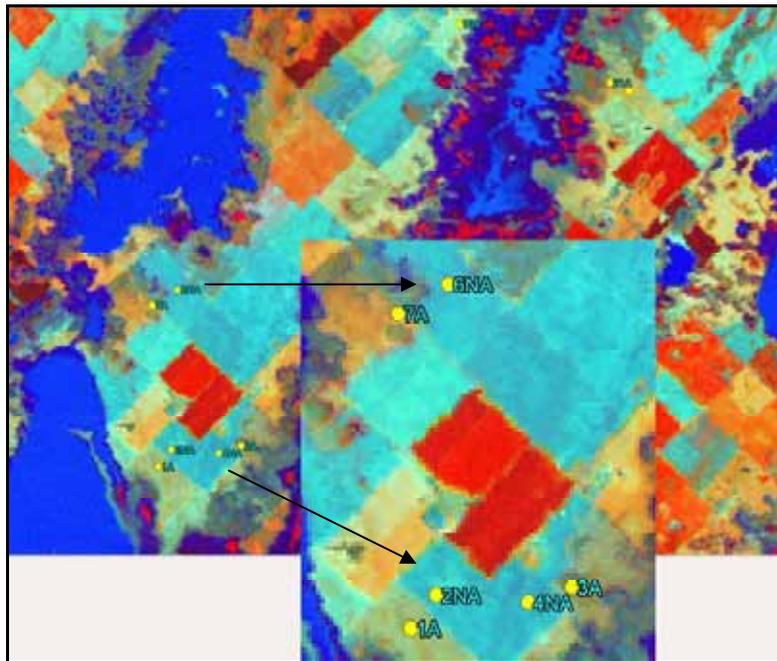


Figura 4.31 Detalle de un sector correspondiente a Trenque Lauquen, laguna de Murphy al sur, donde se indican algunos de los sitios muestreados (A afectados, y NA no afectados por inundación)

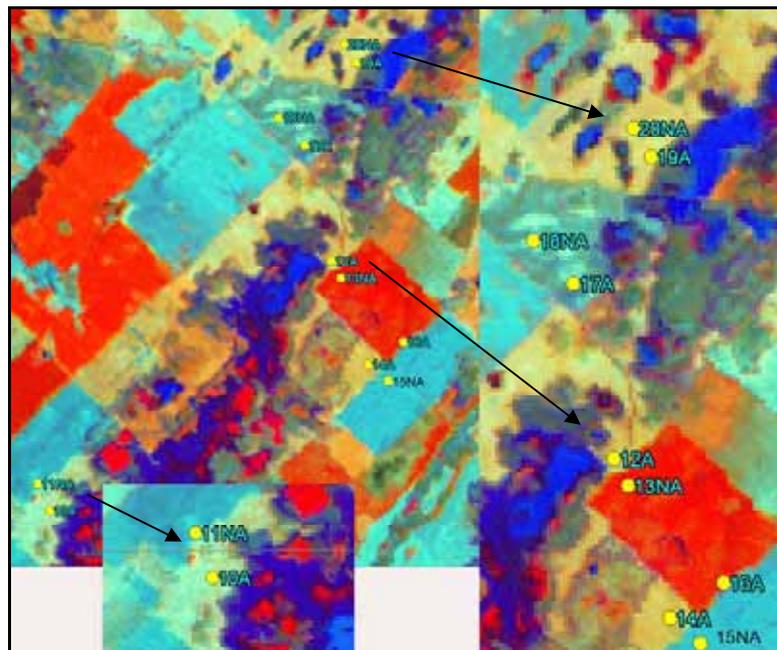


Figura 4.32 Detalle de un sector correspondiente a Trenque Lauquen, laguna de Murphy al norte, donde se indican algunos de los sitios muestreados (A afectados, y NA no afectados)

Las muestras 17A y 18A, se ubican ambas en tonos celeste, lo cual se contradice con lo dicho, sin embargo, nótese que el color de 17A es difuso, 18NA, esta en un pequeño sector celeste (posee salinidad 5.4dS/m). Muy posiblemente además del tono marrón anaranjado que cuando se presenta se asocia con valores altos de CE y en general también de RAS, debe estudiarse con mayor detalle, si la irregularidad en los tonos de un ambiente, aún con otros tonos, no sea también indicador de degradación edáfica. Respecto a las muestras 20NA y 19A, se aprecia que ambas se ubican en igual tono marrón anaranjado claro, no obstante 20NA se consideró no

fue afectada por la inundación, ambas presentan alto RAS, y muy alto pH, pero la salinidad de 20NA es relativamente bajo.

Se reafirma, lo dicho precedentemente que debe ajustarse las claras tendencias entre los colores observados cuando las muestras se procesan por este algoritmo, y el deterioro de los suelo, estableciendo más ajustadamente si dichos colores se asocian estrictamente a alta CE, o también pueda ser debida a alto RAS o pH, es decir, a diferentes formas de suelo degradado. En otras fechas, estos sitios presentan color diferente, y al no haberse muestreado en dichas fechas, se desconoce si han evolucionado a otros valores principalmente de CE, que son los que establecen diferencia en las imágenes. Se estima sin embargo, que en cada fecha debe establecerse el tono que adquiere, y su correspondiente observación a campo, y a partir de éste establecer la extrapolación para toda la imagen.

Tabla 4.32 Conductividad eléctrica, pH en pasta, RAS (Relación de adsorción suelo) en sitios afectados y no afectados, indicados en Figura 4.31 y 4.33

sitio	pH	CE dS/m	MO %	RAS	Ca + Mg meq/l	Na meq/l	Vegetación, presente al muestrear	T1	T2	Suelo
1A	5.3	5.2	5.3	7.5	25.1	26.5	pastura, cobertura media a escasa	2	1.5	C – LH
2NA	6	1.4	5.8	1	6.9	1.9	pastura, mayor cobertura, y algo Medicago sativa			NH
3A	7.8	155	1.1	5.3	124.8	41.6	Peladal con HS, Distichis, y Salicornia	2	1.5	C- LH
4NA	5.5	3.24	5.7	4.9	21.9	16.1	pastura buena cobertura y Festuca			C- LH
5A ¹	7.0	22.3	4.6	62	38.8	275	Distichils, buena cobertura, y Agropiro- todo afectado.	1.5	1	LH
6NA	5.7	1.46	2.8	3.4	5.9	5.8	Medicago sativa y Avena, buen estado			NH
7A	6.4	84	2.5	148	212.2	1524	Peladal , no progresó siembra pastura	2	1.5	AH
8NA	5.6	6.9	4.9	111	10.85	76.3	Lolium, Setaria, Stipa, buena cobertura.			LH
9A	6.8	99.5	3.6	137.5	160.8	1233	Distichils, y Salicornia	2	1.5	AH
10A	8.1	33.9	3.2	126.5	26.4	460.5	<i>Distichils</i>	2	1.5	AH
11NA	5.7	0.35	5.0	1.6	1.5	1.39	<i>Briza, Trifolium repens, Bromus</i> 100 % cobertura, loma alta			NH
12A	7.6	27.5	3.0	84.8	39.8	378.3	<i>Distichils, y Salicornia, depresión</i>	1.5	1	AH
13NA	5.5	15.5	5.6	50.8	29.4	195.1	Pastura, media a escasa			NH
14A	7.2	15.1	3.8	63.1	19.1	195.1	<i>Distichils, y Salicornia*</i>	1	1.5-2	H
15NA	5.7	8.6	6.1	24	14.21	64.0	<i>Bromus sp, Raygrass</i> , buena cobertura.			LH
16A	8.3	37.9	4.1	91.9	25.7	329.5	<i>Distichils, y Salicornia</i>	1	1.5-2	AH
17A	8.3	23.8	2.3	48.2	30.6	188.7	<i>Peladal, Distichils, y Salicornia</i>			LH
18NA	6.2	5.5	3.2	10.4	13.8	27.4	Pastura, prevalece <i>Lolium</i>			NH
19A	8.2	22.1	3.9	71.8	13.8	188.7	<i>Peladal, Distichils, y Salicornia</i>			LH
20NA	8.1	3.8	4.9	22.4	4.5	33.8	Pastura, prevalece <i>Lolium</i>			NH

Significado de expresiones y siglas de Tabla 4.32:

Corresponden a igual lote: 1A-2NA; 3A-4NA; 5A-no se sacó otra muestra, todo está afectado; 6A - 7NA, 10A-11NA; 12A-13NA; 14A-15NA-16A; 17A-18NA; 19A-20NA. De estas, se subrayan las que manifiestan una degradación edáfica y los valores analíticos asociados.

*14A, por microsectores *Lolium sp* y *Trifolium repens*, *Cynodon sp*.

Pastura: *Lolium perenne*, *Avena sativa*, *Bromus unioloides*, *Trifolium repens*

Peladal: suelo desnudo, sin vegetación por degradación. HS: humato sódico "salitre negro" es producto de la materia orgánica dispersa por el sodio.

T1: tiempo en años que estuvo con agua durante la inundación-T2: tiempo en años desde que se retiró el agua

Suelo, característica destacable: **C**: compactado, **H**: hidromorfismo medio; **NC**: no compactado; **NH**: no hidromorfismo; **LH**: ligero hidromorfismo; **AH**: abundante hidromorfismo. *Hidromorfismo*: presencia de moteados y concreciones de Fe y Mn.

Se concluye, que el uso de este algoritmo, **Tasseled Cap**, permite establecer claramente las diferencias entre sectores afectados de los no afectados, debiendo establecerse para cada fecha, el color y correspondiente valor a campo de CE y/o pH o RAS, ya que es posible que el color se deba a una degradación edáfica y sea esto puesto de manifiesto por alta CE, pH o RAS. Respecto a la materia orgánica, se aprecia que en los sitios con color más difuso ésta resulta más baja, y cuando las tonalidades marrón anaranjada son más claras y regulares, los niveles fueron relativamente altos. Lo aquí presentado son tendencias promisorias para definir en imágenes y extrapolar, luego de haber establecido algunos datos de campo que corroboren lo que claramente este algoritmo manifiesta.

En Figura C1 del Anexo C, se presentan las 18 sub-escenas de las imágenes satelitales correspondientes a fechas comprendidas entre el 12 de marzo de 1997 y 21 de agosto de 2006, a las cuales se les aplicó el algoritmo Tasseled Tab.

En la Tabla C1 del Anexo Imágenes, se presentan las coordenadas geográficas, Gauss Kruger Faja 4 (GKF4-WGS84) sistema utilizado en Argentina, y el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (SUTM19 - WGS84).

4.2.2 Análisis de cartografía planialtimétrica y fotografías aéreas

Sólo en el sector seleccionado, correspondiente a Trenque Lauquen, que incluye el sitio detallado en punto anterior, en las *cartas topográficas 1:50,000* (curvas de nivel a 1.25m de equidistancia) del IGM, Instituto Geográfico Militar Argentina, hojas número 3563-26-4, 3563-34-2, 3563-35-1, y 3563-29-3, se realizó además: un análisis del relieve, curvas de nivel, y de las *fotografías aéreas 1:20.000* de fecha 22 de abril de 1982 (única fecha asequible en la Dirección de Geodesia y Aerofotogrametría, del Ministerio de Obras Públicas, provincia de Buenos Aires).

Con las cartas topográficas y fotografías aéreas se *generaron mosaicos* digitales georeferenciados de fotografías aéreas (Figura 4.34), y de cartas *IGM*, con programa *ERMMapper*. Luego de la digitalización con programa Autocard de curvas de nivel de las cartas de referencia, y una imagen digital de igual sitio se obtuvo el modelo de elevación digital presentado en Figura 4.34.

En Figura 4.33 el mosaico de fotografías aéreas georeferenciadas de fecha 22 de abril de 1982, se compara con imagen satelital de abril de 2002. Se destaca que en abril de 1982 en el sitio se daban situaciones de no-inundación. Así, tal como se aprecia en Figura 4.24 y Tabla 4.23, en Trenque Lauquen 1982 fue un año seco, así como los anteriores, entre normal a seco, prevaleciendo estos últimos. El año lluvioso más cercano a 1982 fue 1978 y el inmediato anterior, 1971. Por el contrario, la imagen satelital correspondiente a abril de 2002, corresponde a un año lluvioso, y desde el año 1986 se dieron años consecutivos lluviosos, con excepción de 1989 que fue normal.

En el modelo digital de la imagen satelital de la Figura 4.34, se aprecia claramente la depresión que constituye las lagunas Los Jagüeles y Las Salinas (color azul), a partir de esta la altura el terreno aumenta, adquiriendo sucesivamente color verde claro, amarillo, naranja hasta llegar al máximo de altura con color rojo (parte alta de médanos).

Estas variaciones en altura, se aprecian más claramente en el modelo de elevación de las cartas topográficas, en la parte inferior de la Figura 4.34. En esta se aprecia la escasa diferencia de altura entre la laguna de referencia, y la parte más elevada de los médanos. Así la unidad geomorfológica que queda paralela a los médanos, denominada depresión intermedanosa, no sería estrictamente una depresión, tal como sí lo son las lagunas (antiguas cubetas de deflación) que aprecian claramente en los modelos de elevación.

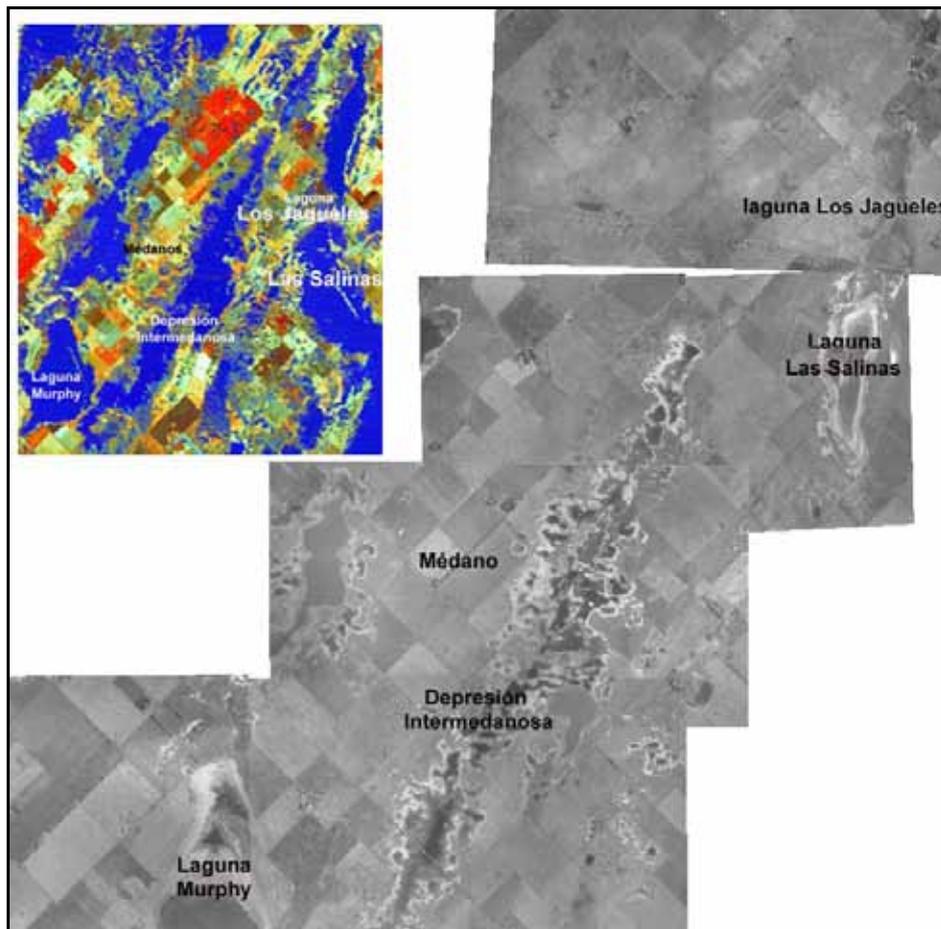


Figura 4.33 Mosaico de fotografías aéreas 1:20.000, tomadas en abril de 1982, e imagen satelital de abril de 2002

Las depresiones intermedanasas, constituyen sectores algo más bajos respecto a los médanos, pero relativamente planos en su extensión e interrumpidos en diversos sitios de su recorrido por lagunas temporarias y permanentes, alojadas en depresiones de forma circular. Estas últimas son las que se colmatan en época de inundación y se unen formando un gran “*manto*” de agua por toda la depresión intermedanosa (Figura 4.35)

Estas unidades geomorfológicas se presentan en punto 2.1.2.1. Se repite lo indicado en este último punto respecto al significado de la expresión “*escorrentía en manto*” en la región: *escorrentía extendida provocada por la carga de agua superficial que se genera por muy baja a nula infiltración, y escasa pendiente, en épocas con grandes excesos hídricos.*

En la Figura 4.36, se presenta el límite entre la unidad de médanos y depresiones intermedanasas, en épocas sin excesos hídricos, donde el límite hasta donde llegó el agua queda claramente marcado por la vegetación.

En las *cartas topográficas 1:50,000* (IGM, Argentina) se aprecia el bajo relieve que tiene todo el sitio aquí presentado. Así, los médanos se ubican en estas cartas en cotas en general entre 88 y 91msnm. Los sectores de lagunas, entre 85 y 87msnm. Las curvas de nivel mayor cota, en general, están en el sector noroeste y van disminuyendo en forma irregular hacia el sureste.

Los sectores del mosaico de cartas topográficas presentados en Figura 4.37 y 4.39 se corresponden con los *ambientes algo más bajos de Trenque Lauquen* (localidad Berutti,

próximo al complejo Hinojo Las Tunas). Estos dos sectores son las curvas de nivel correspondientes a la Laguna de Murphy y Las Salinas indicadas en Figuras 4.34 y 4.35.

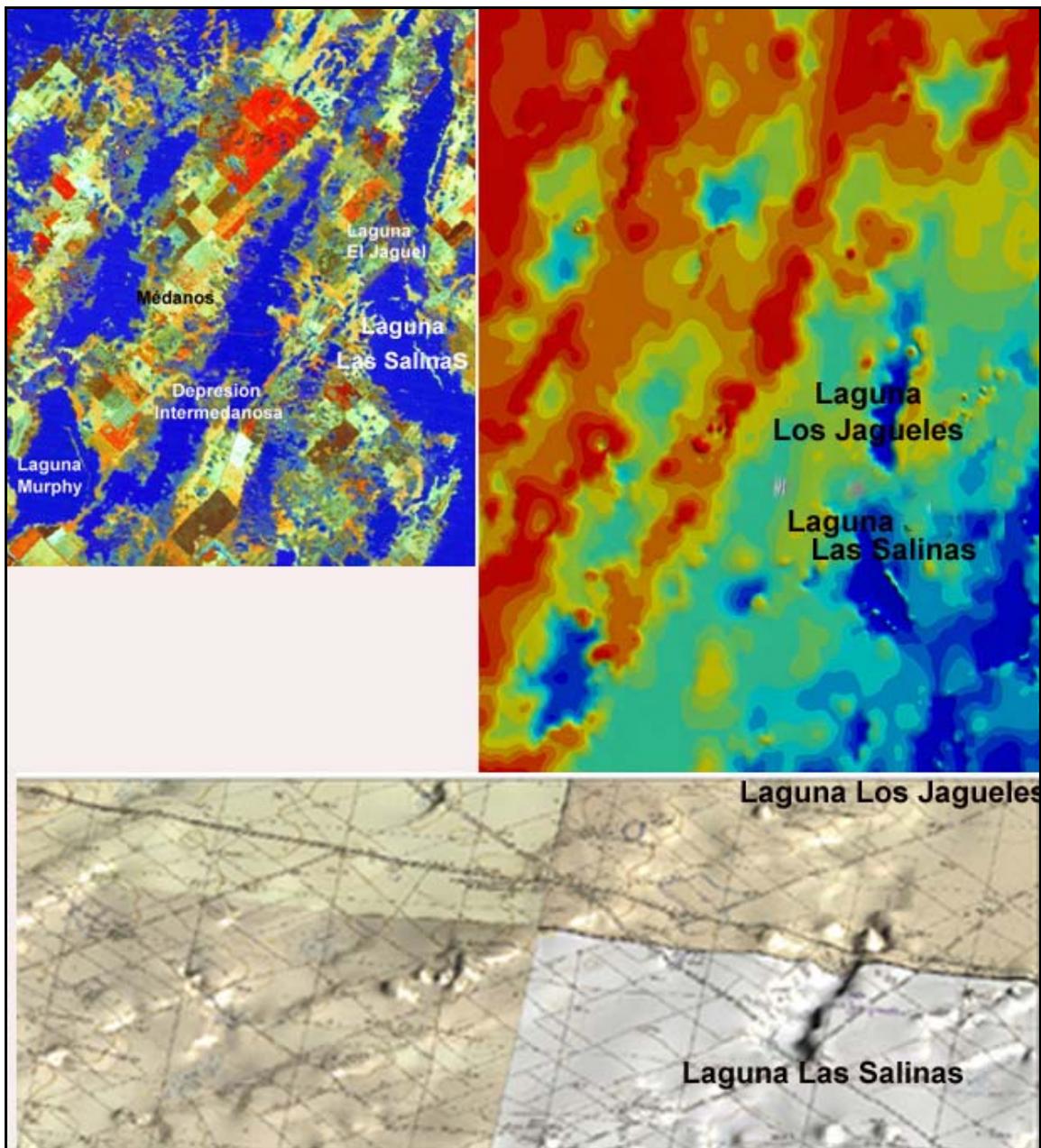


Figura 4.34 Imagen satelital, mosaico de cartas topográficas, y modelo de elevación digital



Figura 4.35 Depresión inter-medanosa con agua de escorrentía “en manto”



Figura 4.36 Límite entre la unidad de médanos y depresión inter-medanosa, en épocas sin excesos hídricos

En Figura 4.37, se presenta un sector del mosaico realizado con las cartas, en el sector correspondiente a la laguna Las Salinas. La curva de nivel de esta laguna se ubica alrededor de la cota 86msnm. El sector vecino más alto tiene tan sólo 90.9msnm.

Asimismo, se presenta en la Figura 4.38, el sector correspondiente a la laguna de Murphy, enmarcada en la curva de nivel de 85msnm, y sus sitios cercanos se ubican como máximo en 90msnm.



Figura 4.37 Sector de laguna Las Salinas, en mosaico de cartas topográficas (1:50.000, IGM) con curvas de nivel equidistancia 1.25m

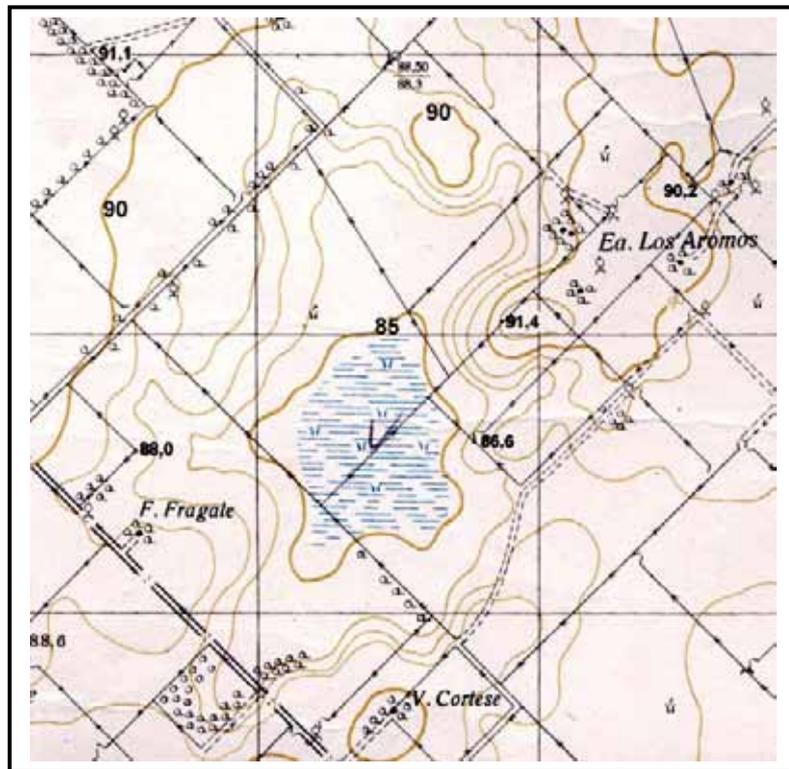


Figura 4.38 Sector de laguna Murphy en mosaico de cartas topográficas (1:50.000, IGM). con curvas de nivel equidistancia 1.25m

En la Figura 4.39, se presenta otro sector del mosaico de cartas topográficas, donde se aprecian claramente los médanos indicados por las curvas de 90msnm y entre medio la unidad geomorfológica depresión intermedanosa, donde se observa la presencia de dos lagunas permanentes hacia la izquierda y otra a la derecha de la Figura 4.39, encerradas en curvas de nivel 87.5msnm y 88.7msnm, con puntos acotados vecinos a estas de 89.4 y 91.4msnm.

Estas lagunas indicadas en las cartas topográficas como permanentes, están alimentadas por agua subterránea, ya que se mantienen aún en sucesivos años secos, y su extensión no se modifica en forma directa con la precipitación.

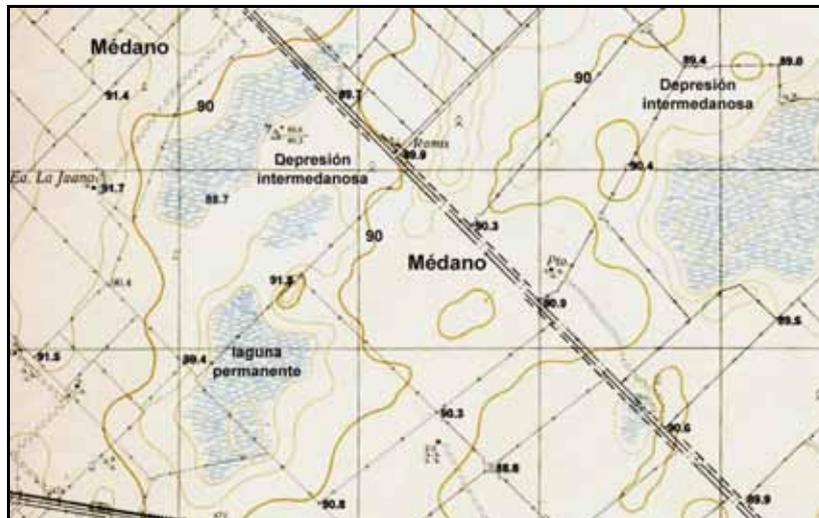


Figura 4.39 Sector más alto en mosaico de cartas topográficas (1:50.000, IGM). con curvas de nivel equidistancia 1.25m

4.2.3 Análisis multi-temporal

A partir del análisis secuencial de imágenes satelitales de diferente registro temporal (19 imágenes Landsat entre 1997 y 2007, provistas por la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales), Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, R.A, Figura C1, Anexo Imágenes), mediante los programas Erpmapper, ArcView, Photoshop, se buscaron asociaciones entre los cambios en la cobertura de agua, y la precipitación ocurrida en el sitio estudiado, principalmente Pehuajó y Trenque Lauquen, localidades vecinas, y otras provincias hasta la Cordillera de los Andes. Se analizó la *asociación entre la ocurrencia de precipitación y evolución de la superficie con agua* en dicha secuencia temporal a fin de establecer si existe cambio en la cobertura superficial del agua que pueda atribuirse al aporte de agua subterránea de otros sitios, o ésta proviene mayoritariamente de la precipitación tal como se indica en antecedentes (punto 2.2).

Asimismo, se comparan con las Imágenes Satelitales Históricas Landsat MSS, que fueron facilitadas por el Centro de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Argentina, a través de la CONAE, correspondientes a cuatro fechas entre diciembre de 1980 y diciembre de 1984.

4.2.3.1 Imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat7 de 1997 a 2007

A fin de facilitar las comparaciones, se seleccionaron dentro de cada una de las 19 imágenes Landsat, cinco sectores y se estudió en los mismos, lo indicado respecto a la evolución de las coberturas de agua y precipitación. Los sectores son los siguientes: 1-laguna de Murphy; Trenque Lauque; 2-ciudad de Pehuajó y alrededores; 3-Establecimiento El tostado, en Pehuajó; 4-Complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, en Trenque Lauquen, y 5- Ciudad de Carlos Casares y alrededores.

En relación con el *clima*, se analiza la precipitación ocurrida en el mes anterior a que fue tomada la **imagen satelital (IS)** y en todo el año, tanto para **Pehuajó (PE)** como para **Trenque**

Lauquen (TL). Las anomalías anuales se presenta en punto 4.1 en las Figuras 4.19 y Tabla 4.17 para Pehuajó; y en Figura 4.24 y Tabla 4.23 para Trenque Lauquen.

Asimismo, en Anexo B-2 y B-3 sobre clima, se presentan en Figura C2, desviaciones estándares mensuales de Pehuajó, y en Figura C4 de Trenque Lauquen. Se destaca que no se reitera en cada punto de análisis que a continuación se presenta, el número de Figuras y Tablas que aquí ya se indicó.

En **1997**, se analizaron dos IS: 1) *12 de marzo* y 2) *28 de agosto*, en ambas fechas, el mes anterior a dichas imágenes, resultaron meses de precipitación normales en TL, y en PE, febrero de 1997 fue seco y julio de 1997 normal. Igualmente ningún mes próximo a estas IS tuvieron anomalía en su precipitación, en junio y octubre de 1997 en PE (105-225mm respectivamente), e igualmente en TL (129-233mm respectivamente). El año 1997, fue lluvioso para TL (total: 1,323mm) y normal para PE (total: 883mm).

De lo expuesto, es de esperar que se incremente la cobertura de agua en forma irregular, siendo menor en PE donde las lluvias fueron normales en el año y seco en el mes anterior al que se tomó la imagen, y por el contrario, una mayor cobertura en los sectores correspondientes a TL con mayor precipitación. Se observa para los cinco sectores seleccionados dentro de las imágenes 1) a 5) un aumento generalizado de la cobertura de agua en las IS 2) respecto a la 1), por lo que no se produjo lo previsible en función de la precipitación del sitio.

En Figura 4.40 se presenta la IS del *12 de marzo de 1997*, y se indican los sectores seleccionados para su análisis. En la Figura 4.41 se compara la laguna Murphy en TL en las dos fechas: IS 1) y 2) de 1997, y en Figura 4.42, se compara la ciudad de Pehuajó y alrededores entre IS1) e IS2) de 1997.

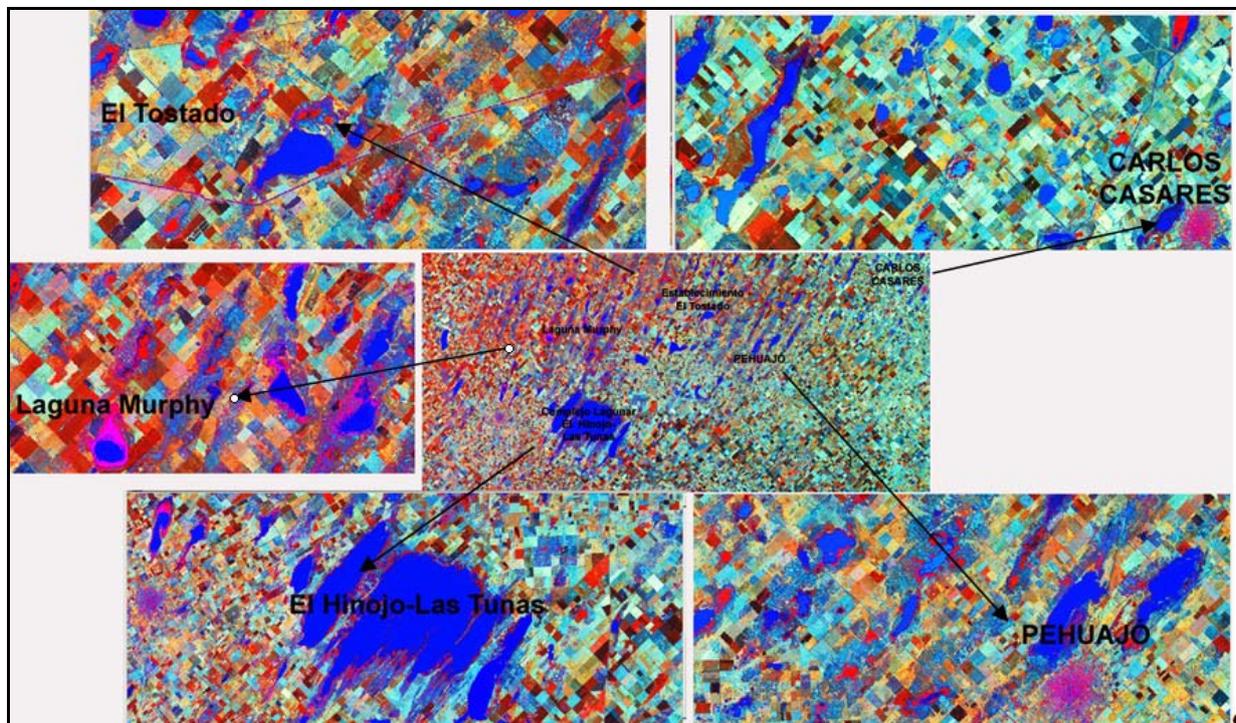


Figura 4.40 Imagen Satelital del 12 de marzo de 1997, y sectores seleccionados para su análisis; 1-laguna de Murphy, 2- Pehuajó; 3-Establecimiento El tostado, 4-Complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, y 5- Carlos Casares

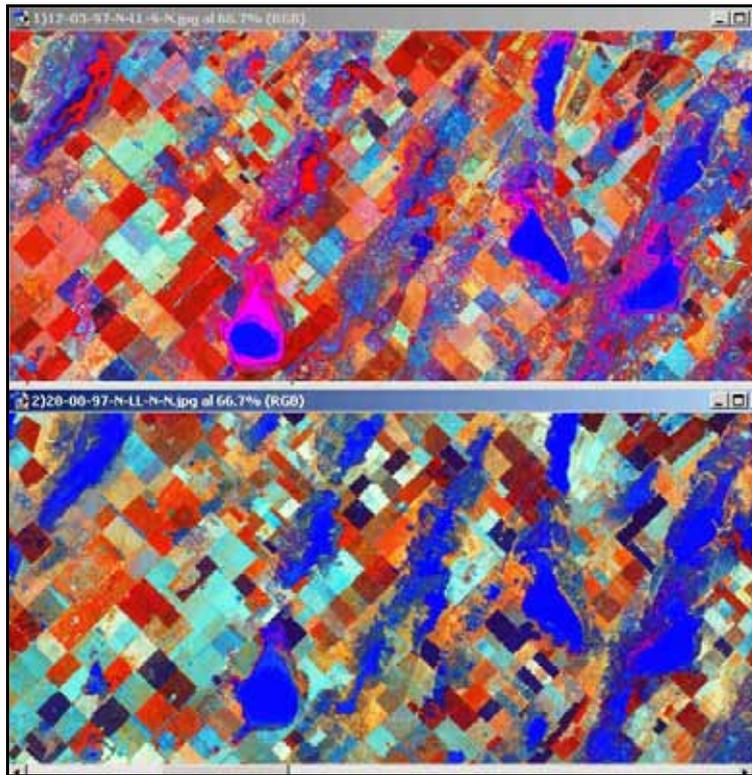


Figura 4.41 Sector de laguna Murphy en Trenque Lauquen en IS1) e IS2) de 1997 respectivamente arriba y abajo

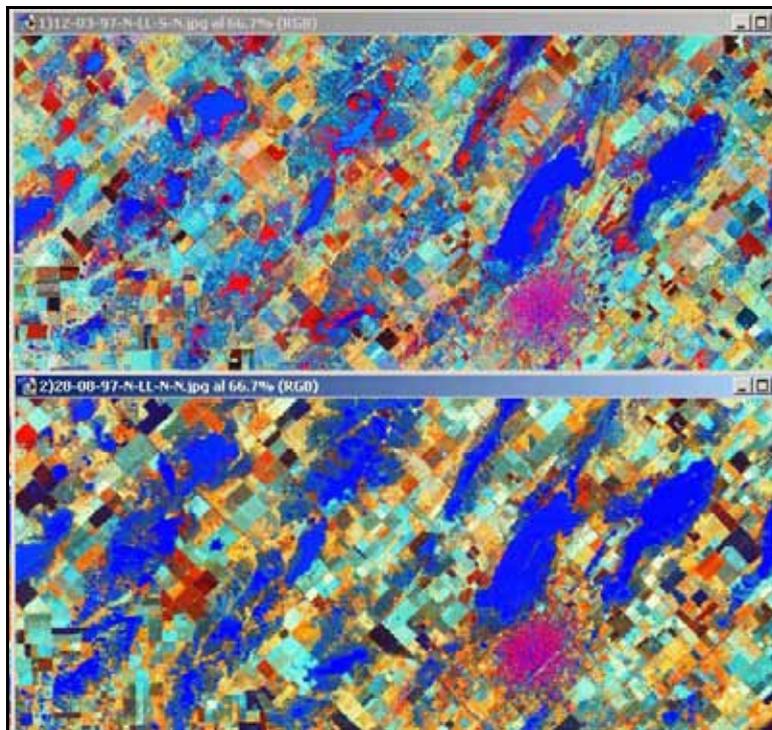


Figura 4.42 Ciudad de Pehuajó y alrededores en IS1) e IS2) de 1997 respectivamente arriba y abajo.

Se aprecia el incremento en Laguna Murphy en IS2) respecto a la IS1) (Figura 4.41) lo cual se puede vincular a mayor precipitación. En Figura 4.42, sin embargo, también se produjo un aumento en Pehuajó, en IS2) respecto a la IS1), lo cual no era de esperar por la precipitación acaecida. Tal como se indicó, la pendiente regional es de N a S, y Pehuajó se ubica al norte de Trenque Lauquen, por lo que debió recibir agua de otros sitios.

En la Tabla 4.33 y Tabla 4.34, se presentan resúmenes comparativos de los sitios analizados en detalle en punto anterior, referido al Clima, y en Anexo B de igual tema.

Tabla 4.33 Resumen comparativo de las sitios analizados en relación al clima.

	Mendoza	Manfredi	Anguil	Ruffino	Villegas	Pehuajó	T.Lauquen
1975	lluvioso extremo	muy lluvioso	Normal	normal	normal	lluvioso	normal
1976	seco	lluvioso extremo	Lluvioso	seco	lluvioso	normal	seco
1977	seco	lluvioso extremo	Lluvioso	seco	seco	muy seco	normal
1978	normal	lluvioso extremo	Normal	normal	normal	seco	lluvioso
1979	lluvioso	lluvioso extremo	Normal	seco	seco	muy seco	muy seco
1980	seco	lluvioso extremo	Normal	seco	normal	seco	seco
1981	seco	lluvioso	Seco	normal	normal	normal	seco
1982	muy lluvioso	muy seco	Normal	seco	seco	lluvioso	seco
1983	normal	seco	Normal	seco	normal	normal	seco
1984	lluvioso extremo	muy lluvioso	Normal	normal	lluvioso	lluvioso	normal
1985	normal	normal	muy lluvioso	lluvioso	lluvioso	lluvioso	normal
1986	muy seco	seco	Lluvioso	seco	normal	lluvioso	lluvioso
1987	normal	seco	muy lluvioso	normal	lluvioso	lluvioso	lluvioso
1988	seco	muy seco	Normal	seco	lluvioso	seco	lluvioso
1989	seco	seco	Normal	seco	normal	seco	normal
1990	lluvioso	normal	Seco	normal	normal	normal	lluvioso
1991	lluvioso	normal	muy lluvioso	muy lluvioso	normal	normal	lluvioso
1992	muy lluvioso	normal	muy lluvioso	seco	normal	normal	normal
1993	lluvioso	seco	Lluvioso	normal	normal	normal	normal
1994	muy lluvioso	muy seco	Normal	normal	normal	normal	lluvioso
1995	seco	muy seco	Seco	seco	seco	seco	muy seco
1996	muy lluvioso	normal	muy lluvioso	seco	normal	normal	normal
1997	lluvioso	seco	Lluvioso	normal	normal	normal	lluvioso
1998	muy lluvioso	seco	Lluvioso	lluvioso	seco	normal	normal
1999	lluvioso extremo	lluvioso	muy lluvioso	normal	seco	lluvioso	lluvioso
2000	normal	seco	Lluvioso	seco	normal	lluvioso	lluvioso
2001	lluvioso extremo	normal	muy lluvioso	seco	normal	normal	lluvioso
2002	normal	normal	Lluvioso	seco	normal	lluvioso	lluvioso
2003	muy seco	muy seco	Seco	muy seco	muy seco	muy seco	normal
2004	lluvioso	seco	Lluvioso	lluvioso	normal	normal	normal
2005	normal	normal	Seco	seco		seco	seco
2006	muy seco	normal	Seco	seco		normal	seco

De la Tabla 4.34, se destaca que en Lincoln, se indican diferentes valores según fuente. Asimismo, se reiteran algunos valores y tendencias descritas en detalle en punto 4.1 a fin de analizar el presente tema.

Tabla 4.34 Precipitación media anual en partidos del noroeste bonaerense

	Alberti	Villegas	Junin	Alem	Lincoln	9de Julio	Pehuajo	T.lauquen
Promedios series		(1911-2004) 945.8		(1991-2004) 1073,4	(1969-1996) 996 (2000-2004) 1235		(1911-2006) 846.4	(1911-2006) 1037.5
1997	1024	1068	1006		1158	1350	882	1323
1998	1116	866	921		1011	1021	986	978
1999	798	895	736		933.8	919	1033.5	1398
2000	1209	932	1275	1087	1094/1158	1220	1093.3	1385
2001	1555	1128	1677	1346	1342/1408	1445	957.1	1414
2002	1268	1117	1321	1203	1400/1554	1415	1136.8	1229
2003	1067	490	1022	820	923/990	980	441.4	1086
2004	942	947	961	880	940/1065	890	921.04	1137
Promedio 1997-2004	1122.4	930.4	1114.9	1067.2	1100.2*	1155.0	931.4	1243.8

* se promedió primer valor

Tal como se aprecia de Tabla 4.33 y 4.34, Pehuajó no recibió lluvia proveniente del norte que justifiquen los aumentos de superficie con agua que se observan en la IS2), ya que las localidades por las cuales se indica reciben el agua de escorrentía no presentaron al menos en los últimos años lluvias tan elevadas como para que afecten hasta Pehuajó. Así, se aprecia que en Rufino, Santa Fe el año más próximo lluvioso fue en 1991, y en Villegas el último año lluvioso 1988. No obstante, se destaca que en Rufino, tal como se indicó precedentemente en punto 4.1 la media del periodo 1986-1996 es de 960mm y resulta en 190mm superior a la serie histórica de 1921-1950 (768mm). Consecuentemente, si bien se aprecia que ha habido un aumento en Rufino, en 1997 no fue superior al promedio, siendo un año normal.

En Villegas también las lluvias fueron normales. Otras localidades del norte, Lincoln en 1997 fue normal aunque (1,158mm), algo superior al promedio que hubo hasta 1996 (997mm). Igualmente, Junín, Alem, Carlos tejedor, y Henderson en 1996-1997 no fueron años lluviosos. En estas últimas localidades, la precipitación aumenta en los últimos años, recién en el 2000, fecha en la cual ya grandes inundaciones habían sido reportadas (punto 2.2).

Sin embargo, puede haber habido aportes desde Laboulaye en Córdoba, ya que la media se incrementó para el período 1971-1999 a 907mm, respecto al promedio de 760mm anuales (1903-1970), igualmente se producen altas precipitación entre 1997-2001, generando un severo proceso de inundación y anegamiento en la zona.

Tal como se analizó al presentar los resultados de clima, el Río Quinto proveniente de San Luis, pasa por Laboulaye, y entra en Buenos Aires, por Villegas inundando este partido para continuar su curso hacia América y Trenque Lauquen, y de allí con curso bastante divagante, el Río Quinto tuerce hacia el Noreste, pasando entonces sucesivamente por las proximidades de *Pehuajó, Carlos Casares, 9 de Julio y Bragado* (Wikipedia, 2007) (Figura 4.9). Sin embargo, si la presencia de agua en Pehuajó tuviera este origen, tendría que haber más agua en el partido de Trenque Lauquen.

Asimismo, en localidades más alejadas, Mendoza, fue una época lluviosa al igual que en Anguil, La Pampa (promedio 1911-2006, 657mm, se incrementa desde 1971). Castaldo (2003) para La Pampa, tal como se analizó en detalle en punto anterior, agrupa los valores de precipitación media anual, para obtener un promedio medio anual para cada uno de los siguiente períodos: 1921-1999, 691mm; 1921-1970, 603mm; 1971-1999, 850mm, por lo que la diferencia entre los dos períodos 1921-1970 y 1971-1999, es de 247mm.

En Mendoza, si bien el valor de precipitación total es siempre bajo (promedio 1927-2006 es de 282.7mm anuales), se destacan los periodos húmedos entre 1990 hasta 1994, y de 1996 al 2001 que superan las medias. Así, en 1996 llovió 466.3 mm, que se suma a las grandes nevazones y aumento del caudal de ríos (Norte et al., 2006).

Estos autores, como se detalló en punto anterior, estudiaron los caudales mensuales del Río Mendoza en todo su curso en el periodo 1957-1997, en relación con los eventos cálidos ENSO haciendo énfasis en los casos de 1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, y las primeras manifestaciones del caso de 1997, con la precipitación de la Cordillera Frontal. Prieto y Herrera (2002) al estudiar la variabilidad climática histórica del clima de la Argentina, correlacionan los eventos de máximas crecidas y máximas nevadas con el fenómeno ENSO (El Niño), y encuentran una asociación importante, en un 69.5% de los casos encuentran que el incremento de las nevadas y posteriores mayores caudales se vinculan al evento de El Niño.

En San Luis como se indicó en punto anterior, desde 1950 se estima hubo un corrimiento de las isohietas siendo actualmente la precipitación anual mayor a 500mm en los últimos 50 años (corrimiento de isohietas desde 1950, con mayor precipitación, que afecta a cerca de 4 millones de hectáreas, donde actualmente la precipitación anual es mayor a 500mm en los últimos 50 años).

Consecuentemente, hubo para 1997 una situación de elevada precipitación y aporte de agua, principalmente fuera del ámbito provincial que puede haber tenido incidencia en el agua superficial de Pehuajó, ya que los excesos de Trenque Lauquen van en dirección al sur.

En Figura 4.42 se compara IS1) e IS2) de 1997 respectivamente arriba y abajo, en el sector correspondiente al Establecimiento El Tostado y alrededores, en la localidad de Pehuajó. Al igual que lo indicado para la ciudad de Pehuajó, se aprecia en IS2) en el sector del Establecimiento el Tostado (Figura 4.43) una cobertura con agua más importante que las previsible por las lluvias acaecidas en el sitio.

Es importante destacar, que los **aumentos en los cuerpos de agua observados** en Figuras 4.43 y 4.44, **no presentan conexión superficial** con aguas que podrían estar llegando desde otros sitios por escorrentía, por lo cual el incremento proviene por *aportes subterráneos de agua*.

En **1998**, se analizaron IS de dos fechas: IS3) 8 de marzo e IS4) 5 de diciembre de 1998. En ambas fechas, no hubo anomalías mensuales en fechas próximas a las IS, y el mes anterior a tomar dichas imágenes fue normal al igual que la precipitación anual tanto de Trenque Lauquen como de Pehuajó. Esto se corresponde al comparar en forma general ambas imágenes, ya que no ha habido aumento generalizado en la cobertura superficial de agua en IS4) respecto a la IS3). Sin embargo, es factible observar variaciones importantes en algunos sectores, sin que haya existido precipitación en exceso. Esto se aprecia claramente en la Laguna de Murphy, y en la ciudad de Pehuajó y alrededores, aunque no en el sector del establecimiento el Tostado, donde no se observa diferencia en las superficies cubiertas con agua. En el sector correspondiente al Complejo Lagunar Hinojo-Las Tunas hubo un ligero incremento en la IS4), respecto a la IS3).

Se destaca, que si bien hubo una anomalía en el mes de abril de 1998 en Trenque Lauquen (243mm) y en Pehuajó (310mm) esta ocurrió luego de la fecha en que fue tomada IS3) y muy alejada de diciembre de 1998 que corresponde a la IS4), por otra parte, el año resultó normal en ambos partidos.

Respecto a la ocurrencia de precipitación, pueden efectuarse iguales comentarios que los indicados para 1997, destacándose sin embargo que en 1998, Rufino tuvo lluvias de 1,258mm. No obstante, esto y lo indicado precedentemente en relación con la *ocurrencia de precipitación no justifica los aumentos de agua* en observados en las imágenes, lo cual **sólo pueden explicarse por aporte subterráneos de agua**. Asimismo, *tampoco se observa conexión superficial* entre estos cuerpos de agua, con aguas de otros sectores, que permita el aumento de su tamaño.

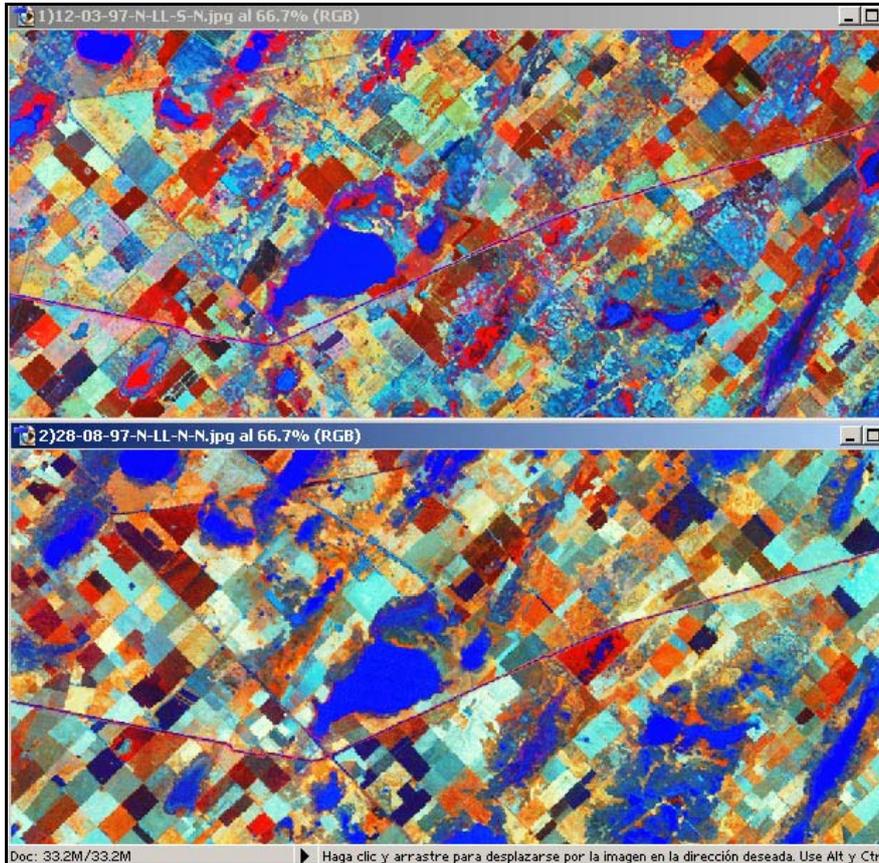


Figura 4.43 Establecimiento El Tostado y alrededores, en Pehuajó en IS1) e IS2) de 1997 respectivamente arriba y abajo,

En Figura 4.44 se presenta una comparación del sector correspondiente a Laguna de Murphy para las cuatro fechas: IS1), IS2), IS3) e IS4), y se aprecia muy claramente el incremento marcado que se produjo en la IS4) sin precipitación en exceso. Así, en el inter-médano central que pasa a la derecha de Laguna de Murphy, se aprecia claramente como se une con dicha laguna. Se destaca que este inter-médano central presenta siempre agua, tal como se aprecia en la Figura 4.34 (mosaico de fotografías aéreas 1:20,000, tomadas en abril de 1982) correspondiente a igual sitio que Figura 4.44.

En la Figura 4.45, se presenta el sector correspondiente a Pehuajó y alrededores para las cuatro fechas: IS1), IS2), IS3) e IS4). Se aprecia en la IS4) como se incrementa respecto a IS3) principalmente en sectores izquierdos de la misma, principalmente el inter-médano que pasa al costado de la laguna Rocha, cuya superficie claramente se presenta incrementada (color azul en IS4) y roja en IS3).

Son también importantes los aumentos ocurridos en Carlos Casares, en la IS4) respecto a la IS3). No se dispone de información climática para esta localidad, lo más próximo es el partido de 9 de Julio, cuyos datos se presentan en Tabla 4.16.

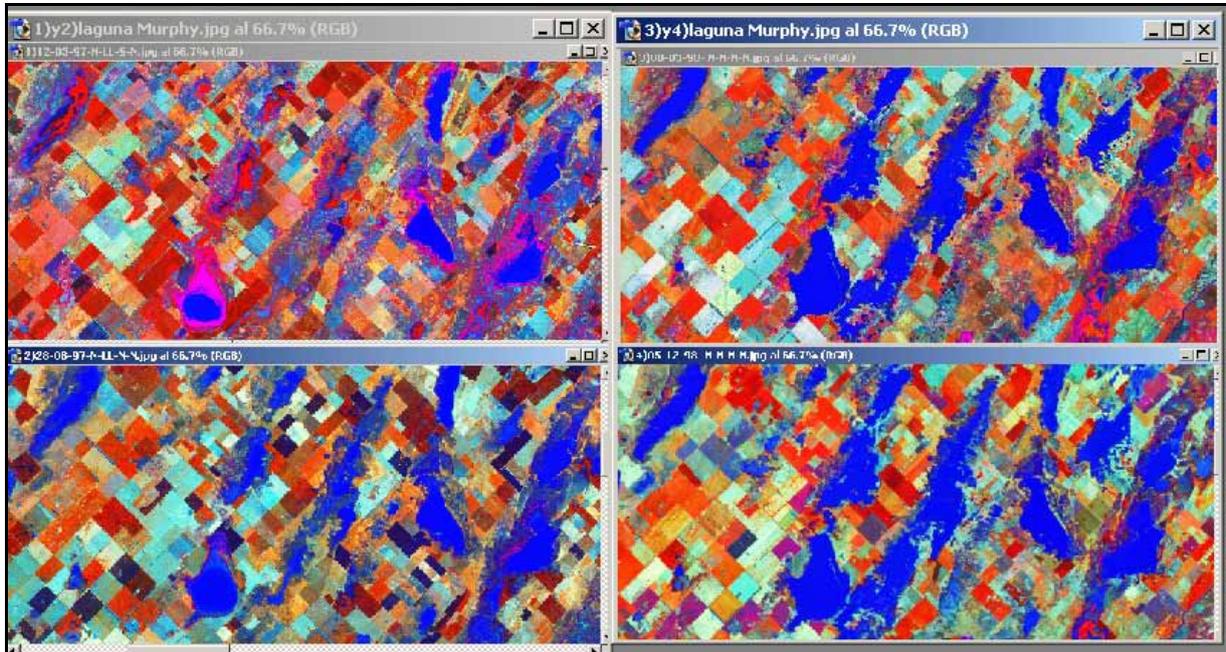


Figura 4.44 Sector de Laguna de Murphy para las cuatro fechas: IS1)-IS2) (arriba y debajo respectivamente, a la izquierda) con IS3)-IS4)(arriba y debajo respectivamente, a la derecha).

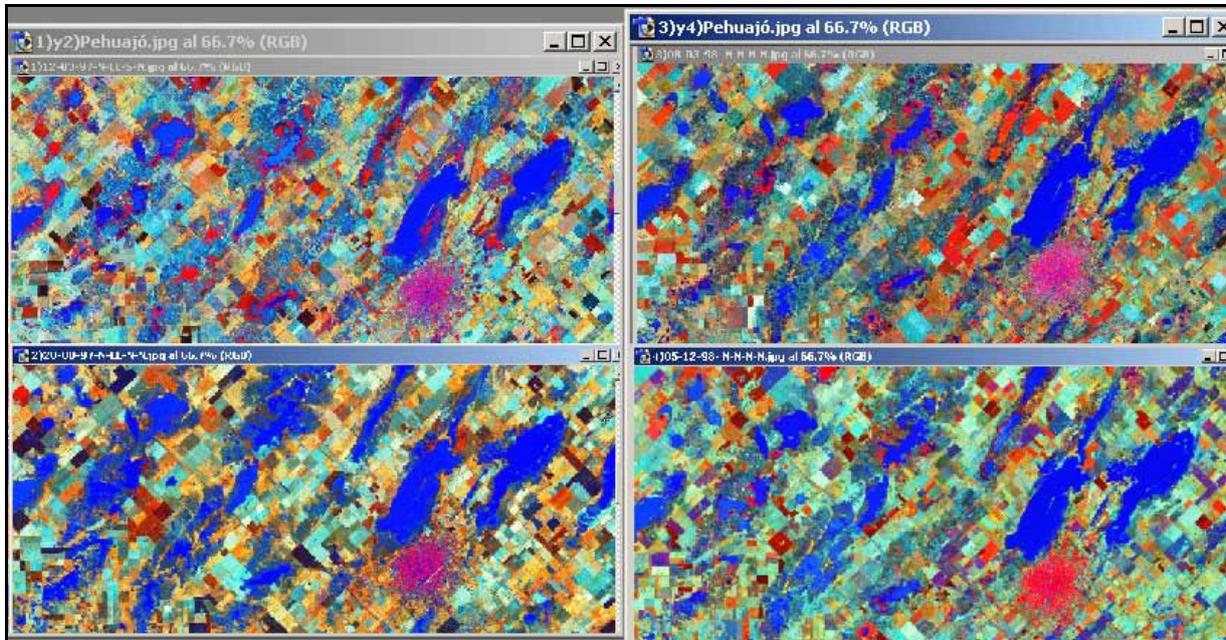


Figura 4.45 Sector de Pehuajó y alrededores en cuatro fechas: IS1)-IS2) (arriba y debajo respectivamente, a la izquierda) con IS3)-IS4)(arriba y debajo respectivamente, a la derecha).

En 1998 la precipitación fue menor que en 1997 (1,021-1,350mm, respectivamente), sin embargo, en las imágenes de 1997, entre IS1) e IS2) no hubo diferencias en coberturas de agua superficial para este partido. En la Figura 4.46 se presenta el sector correspondiente a Carlos Casares para las cuatro fechas siguientes: IS1), IS2), IS3) e IS4).

Respecto a lo comentado para el Establecimiento El Tostado, que no se aprecian diferencias entre IS4) y IS3), se indica además, que en IS4) se aprecia menor cobertura de agua que en IS2). Se producen variaciones no obstante que en ambos años la precipitación de Pehuajó fue normal.

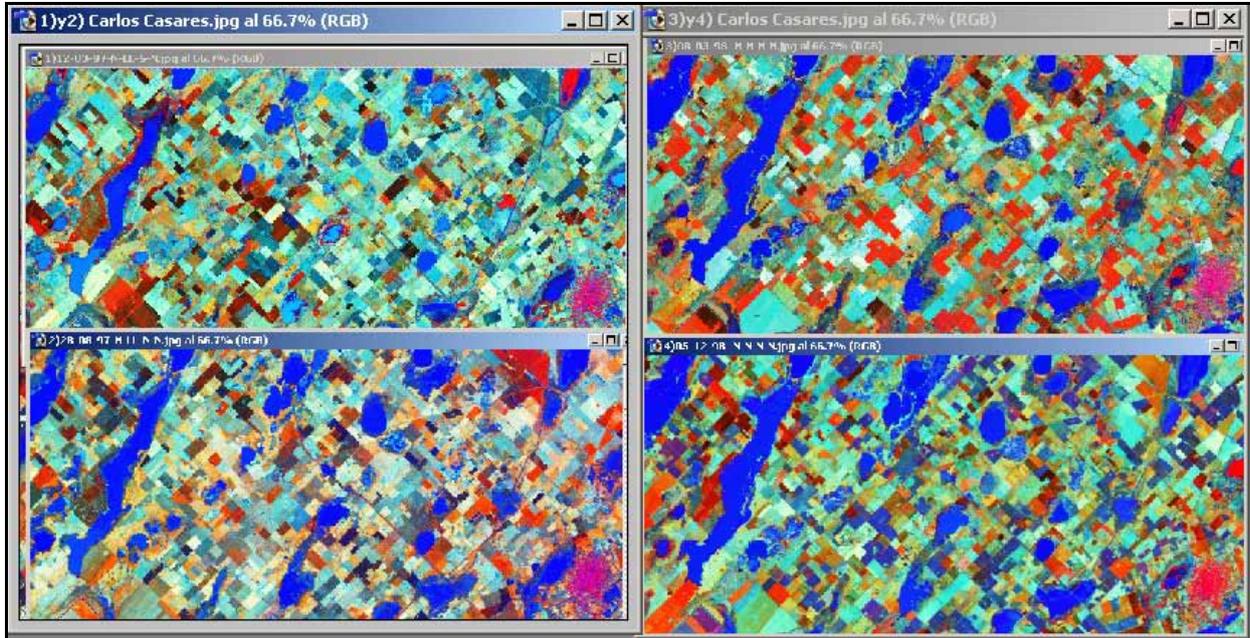


Figura 4.46 Sector de Carlos Casares y alrededores en cuatro fechas: IS1)-IS2) (arriba y debajo respectivamente, a la izquierda) con IS3)-IS4) (arriba y debajo respectivamente, a la derecha)

En **1999**, se analizaron IS correspondientes a dos fechas: IS5) 6 de enero e IS6) 12 de abril.

Si bien 1999 fue un año lluvioso tanto en TL como en PE, las imágenes corresponden a los primeros meses del año, por lo que se vincula más con lo ocurrido durante 1998. Sin embargo, es de destacar que si bien en Pehuajó en los meses anteriores a la IS5) no hubo ningún mes con elevada precipitación, en el mes de marzo de 1999 previo a la IS6) llovió 412mm, cantidad que es casi la mitad de lo que en promedio llueve en el año en Pehuajó.

En Trenque Lauquen, ocurrió algo semejante, en los meses previos a la IS5) la precipitación fue normal, pero en marzo de 1999 llovió 440mm. En el mes de marzo de ambos sitios es donde se produce la anomalía y en el resto del año en ambos sitios los valores de todos los meses fueron normales. Consecuentemente, resultaron años lluviosos por esta anomalía producida en el mes de marzo.

Con base en lo expuesto, con más de 400mm de precipitación en el mes previo a la IS6) y correspondiendo la IS5) a un período sin exceso, es de prever marcadas diferencias en las aguas de superficie, sin embargo las diferencias están dadas principalmente por agua superficial esparcida en forma relativamente uniforme por sectores, pero en general se observa que las lagunas no aumentaron su superficie marcadamente.

Así, se aprecian algunos incrementos en el sector correspondiente a Laguna de Murphy, pero atribuible al agua reciente precipitada en forma esparcida por la superficie, no de las lagunas. En el Establecimiento El Tostado, en algunos sectores se aprecia claramente el aumento de precipitación acaecida en IS6) respecto a IS5), al igual que en algunos sectores de Pehuajó, en la cual el inter-médano a la izquierda de Rocha presenta mayor cobertura con agua.

En la Figura 4.47 se presenta el sector del Establecimiento El Tostado, y en la Figura 4.48 el sector correspondiente a Pehuajó, que son los dos sitios donde más claramente se observa diferencia por la precipitación ocurrida para el mes de marzo de 1999.

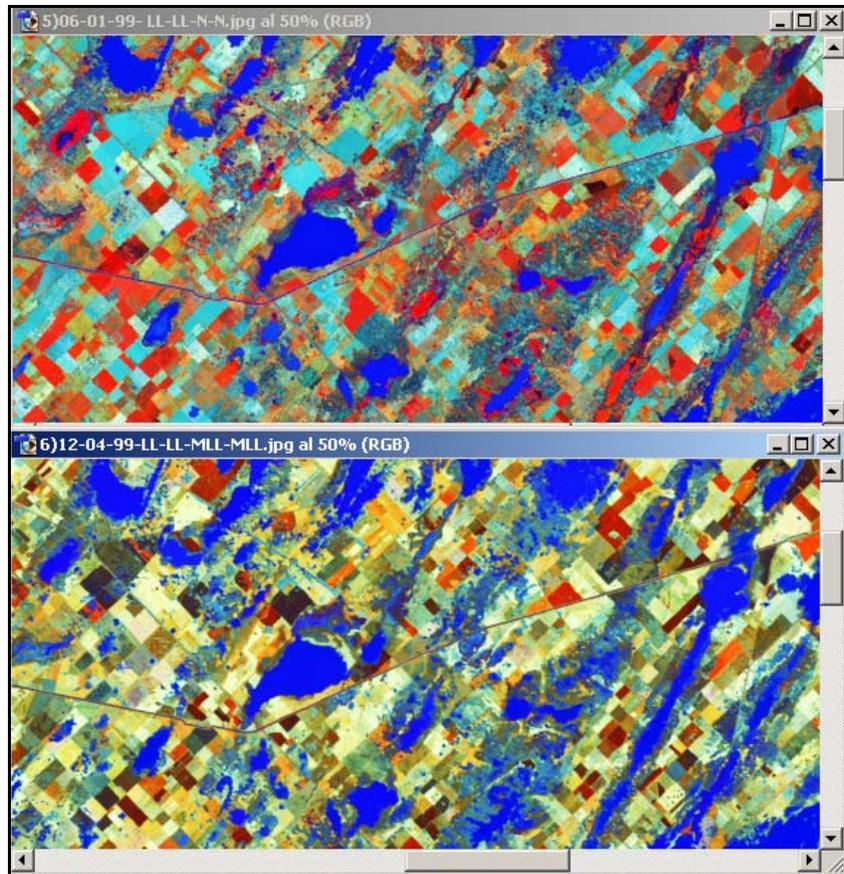


Figura 4.47 Sector del Establecimiento El Tostado, IS5) e IS6) arriba y abajo respectivamente.

En esta fechas de 1999, **no parece haber incremento importante atribuible al agua subterránea**, sino por el contrario, a las lluvias recientes en el sitio pero que no contribuyeron en forma destacada a incrementar la superficie de las lagunas permanentes, ni de los intermedáanos principales, sólo en algunos sectores, tal como se aprecia en Figuras 4.48 y 4.49.

En el año **2000**, se analizaron IS de dos fechas: IS7) 29 de marzo e IS8) 11 de diciembre. En ambas fechas, los años fueron lluviosos tanto para TL (total 1,385mm) como para PE (total 1,093mm). Los meses previos a que fueron tomadas estas imágenes resultaron en PE, lluvioso y muy lluvioso para las IS7) e IS8), respectivamente; mientras que en TL fueron normal y muy lluvioso para iguales situaciones. En los meses de febrero, mayo y octubre fueron lluviosos o muy lluviosos en Pehuajó (213-186-254mm respectivamente), y en los meses de enero y octubre en TL las lluvias fueron elevadas (239-289mm, respectivamente). Es de prever aumentos generalizados en la superficie con agua en general, y así ocurrió.

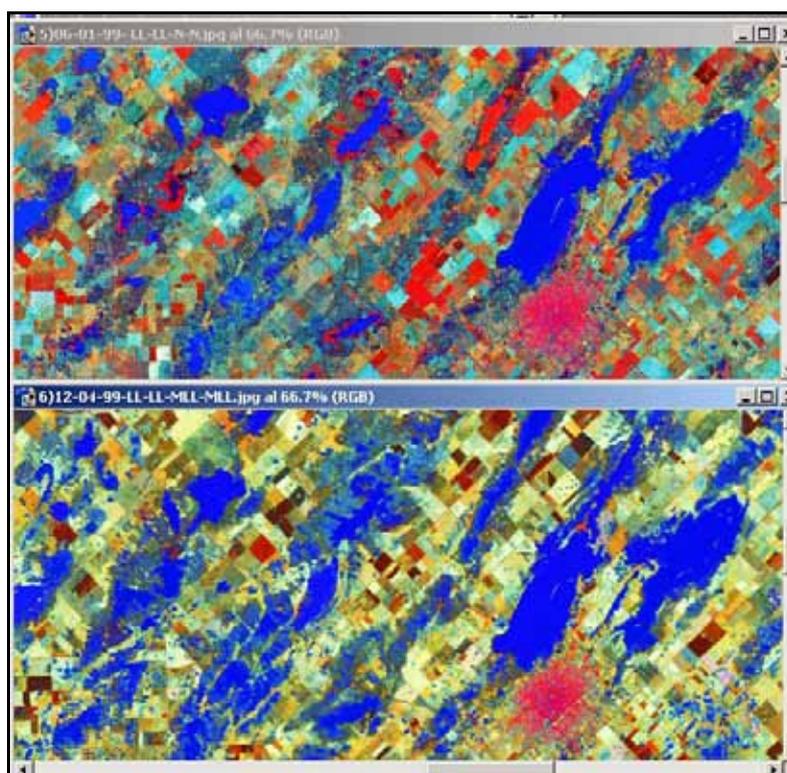


Figura 4.48 Sector de Pehuajó, IS5) e IS6) arriba y abajo respectivamente.

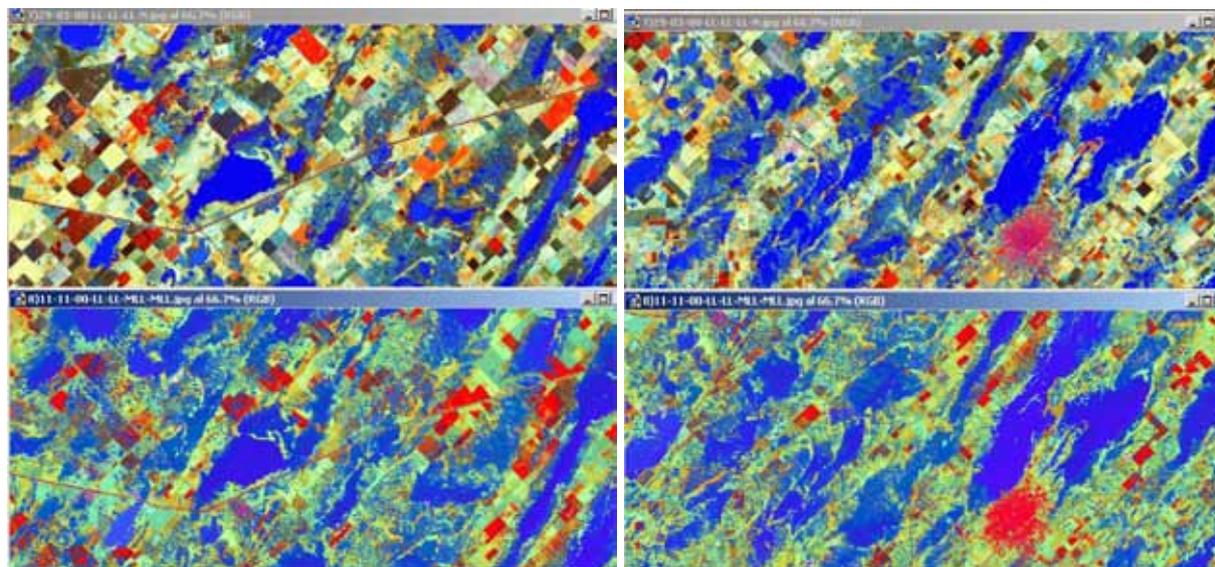


Figura 4.49 Sector del Establecimiento El Tostado en dos fechas, IS7) arriba izquierda e IS8) abajo izquierda; y sector correspondiente a Pehuajó en IS7) arriba derecha e IS8) abajo derecha.

Sin embargo, tal como se indicó para el año 1999, se aprecia mayor cantidad de agua superficial, de agua acaecida en forma reciente, esparcida por diferentes sectores, pero no se aprecia un incremento importante de los cuerpos de agua permanente o los sujetos al parecer al agua subterránea, sólo en algunos sectores. Este aumento de agua superficial, no integrando cuerpos de agua permanente y/o más profundos se aprecia en todos los sectores,

destacándose al igual que en 1999, el sector correspondiente a Pehuajó y al Establecimiento El Tostado, también perteneciente a Pehuajó (Figura 4.49).

No obstante también se aprecia en el sector de laguna Murphy (Figura 4.50) lo indicado para la Figura 4.49; además, se observa que al menos algunos cuerpos con agua más perdurable han disminuido ligeramente en la IS8) respecto a la IS7 (ver inter-médano que corre a la derecha de laguna de Murphy). Esto confirma lo que se ha sido apreciando en las imágenes anteriores, se produce variación en los cuerpos de agua que no se relaciona en forma exclusiva con la precipitación acaecida en el lugar.

El año **2001**, se analizó sólo una fecha IS9) del 11 de noviembre. Este año resultó normal para PE (total 957mm), y muy lluvioso para TL (total 1,414mm), el mes previo a esta imagen en ambas localidades fue normal. Sin embargo, hubo varios meses anómalos, por exceso hídrico en TL: marzo, abril, noviembre (289-176-182mm, respectivamente), se destaca que si bien septiembre y octubre no llegan a ser anómalos tuvieron precipitación elevada (179-154mm, respectivamente) y en PE no hubo meses anómalos por exceso, si hubo meses secos durante el invierno. En general, hubo un marcado aumento de agua en todos los sectores, por lluvias recientes pero también de los cuerpos de agua más estables, inter-médanos, por ejemplo de la Laguna Murphy aumentaron marcadamente, así como en el Establecimiento El Tostado (Figura 4.51). Aumentan de manera mucho menos marcada Carlos Casares y el complejo Lagunar Hinojo Las Tunas. Se destaca que no hubo correspondencia directa con la precipitación, ya que en Pehuajó las lluvias fueron normales, y no hubo ningún mes lluvioso, y sin embargo aumentó marcadamente la presencia de agua en superficie vinculada con los sitios con agua permanente (inter-médanos y lagunas).

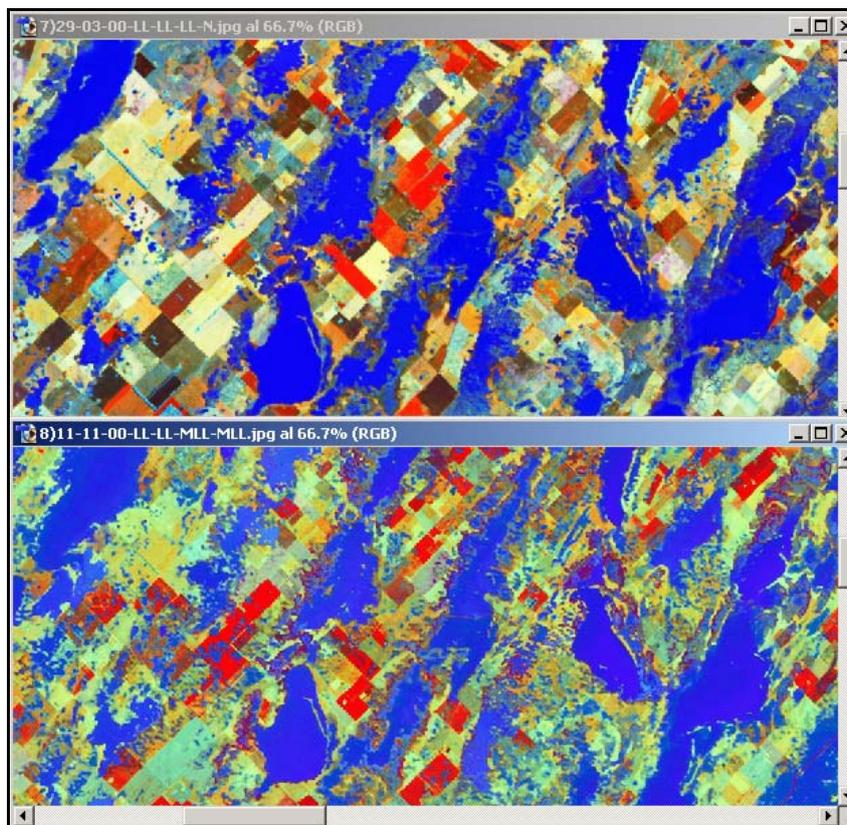


Figura 4.50 Sector de laguna Murphy en dos fechas; IS7) arriba e IS8) abajo

En el año **2002** se analizaron IS de dos fechas: IS10) 10 de mayo e IS11) 24 de diciembre. Tanto en TL como en PE el año 2002 fue lluvioso (total 1,229-1,136mm, respectivamente). El mes anterior a la toma de ambas IS fue normal en PE, mientras que en TL fue en ambas IS, lluvioso. Los meses anómalos por exceso hídrico fueron en PE en marzo (315mm), agosto (116mm), noviembre (117mm) y diciembre (152mm), octubre aunque no llega a ser anómala presentó alta precipitación (131mm). En TL, los meses anómalos por exceso de lluvia fueron marzo, agosto, y noviembre (310, 92, 162mm, respectivamente).

La Figura 4.51 compara el sector del Establecimiento El tostado en IS9) con lluvia normal y sin meses anómalos; respecto a igual sitio en IS10) correspondiente a un año lluvioso, y hasta la fecha de la toma de esta imagen, habían acaecido precipitaciones anómalas y excesivas de marzo 315mm), y sin embargo disminuyen marcadamente los cuerpos de agua. Asimismo, tal como se muestra en Figura 4.52 para el sector de Laguna Murphy, en el sector del Establecimiento El Tostado disminuye la superficie con agua en IS11) no obstante ser un año lluvioso con varios meses anómalos en exceso.

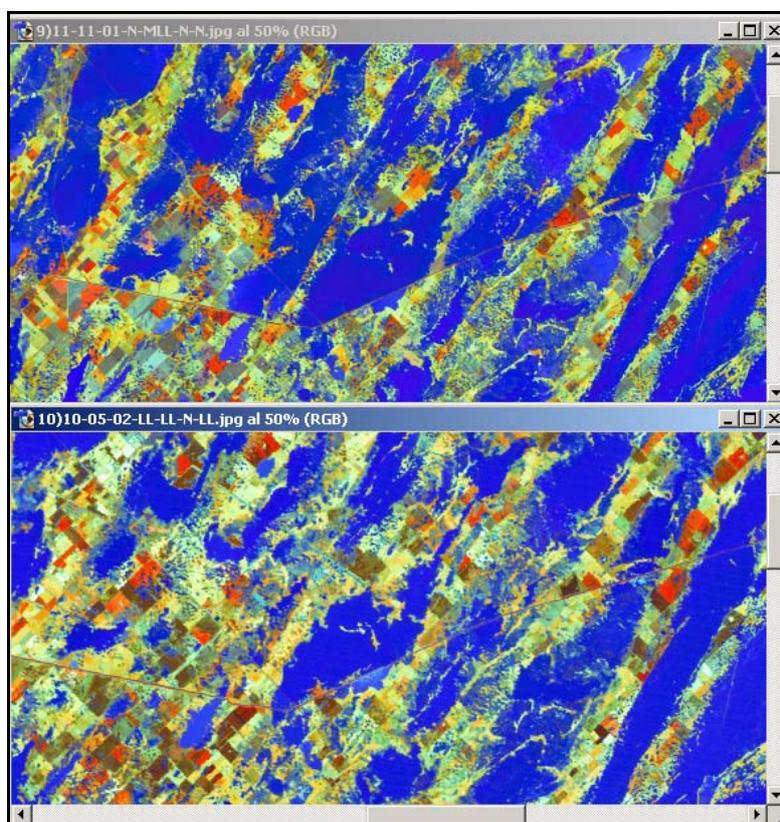


Figura 4.51 Sector del Establecimiento El Tostado en IS9) con precipitación normal y sin meses anómalos; respecto a igual sitio en IS10) año lluvioso.

Igualmente, si se comparan las IS9) IS10) e IS11) del sector correspondiente a la laguna de Murphy (Figura 4.52) se aprecia que aunque los años 2001 y 2002 fueron lluviosos, así como los años anteriores, se estimaría mayor cantidad de agua en la IS11), se aprecia que en algunos sectores disminuye marcadamente respecto a la 9) y 10). Así, por ejemplo, es visible lo indicado en último término en el inter-médano ubicado a la derecha de la laguna de Murphy.

Si bien, se observan diferencias según el sitio, se destaca que en general puede apreciarse que no obstante 2002 fue más lluvioso y provenía de un año 2001 también lluvioso, así como los años previos, no se apreció en la IS11) tales incrementos.

En este último año, 2002, se reafirma lo observado en toda la secuencia de imágenes hasta aquí analizadas, respecto a que no es exclusivo lo que aquí ocurre con el agua como resultado evidente de la precipitación acaecida en el lugar, sino que además existen aportes subterráneos importantes que provienen de otros sitios.

En el año **2003** se analizaron IS de dos fechas: IS12) 15 de abril e IS13) 1 de noviembre. En PE, este año fue muy seco (total 441mm) y TL normal (total 1,085.). El mes anterior a la IS12) tanto en PE como en TL fue normal, mientras que en la IS23) en PE fue muy seco y en TL normal. Los meses anómalos en PE fueron por secos, lo que fue generalizado todo el año, y en TL noviembre y diciembre fueron lluviosos (212-216mm, respectivamente). Por lo expuesto, se estima que debería ocurrir una marcada disminución en la IS12) en todos los sectores de PE y TL, pero no así en la IS3) donde sólo debería disminuir marcadamente en PE.

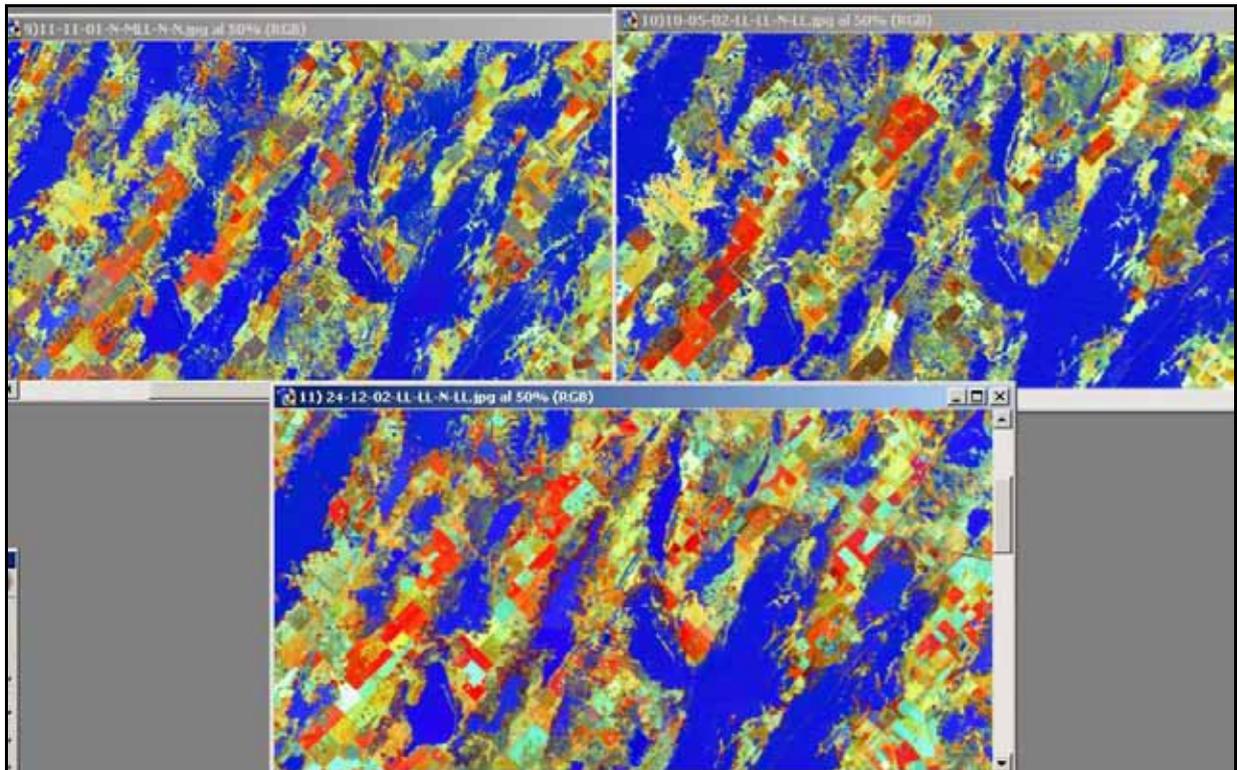


Figura 4.52 Sector de laguna de Murphy en tres fechas, IS9) (arriba a la izquierda) IS10) (arriba a la derecha) e IS11) abajo y central

En el sector de la Laguna de Murphy, se producen variaciones que no son claras, en algunos sectores disminuye y en otros aumenta, pero es claro que no hay una relación exclusiva con la precipitación. Igualmente en otros sectores ocurre lo mismo, si bien hay una menor cantidad de agua, no se produce la disminución esperada, en algunos sitios se mantiene igual, en otros disminuye e incluso aumenta.

En la Figura 4.53 se presenta una comparación entre la IS12 e IS13) del sector de Laguna de Murphy. Si se compara con IS11) se aprecia que aumenta el inter-médano que pasa hacia la derecha de las lagunas Las Salinas y Los Jagueles, en la IS12) y luego disminuye en IS13), tal como se indicó estas variaciones no se corresponden con la precipitación acaecidas.

En la Figura 4.54, se compara la IS12 e IS13) del sector del Establecimiento El Tostado, que si bien se aprecia una marcada disminución respecto a las IS9) y 10) presentadas en Figura 4.51, se esperaba aún mayor disminución de agua.

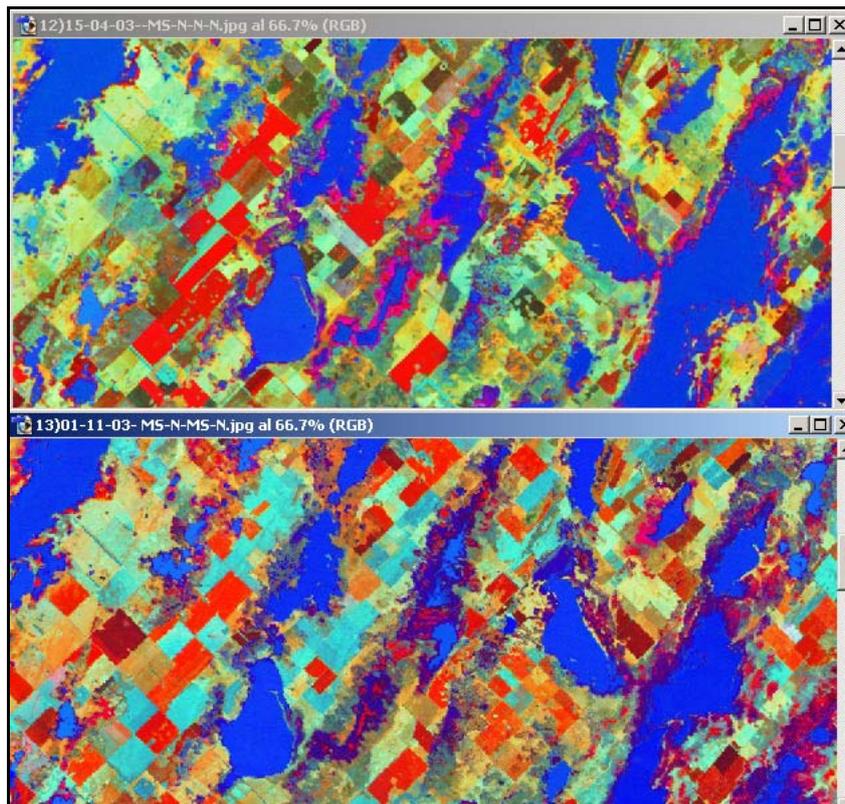


Figura 4.53 Sector de Laguna de Murphy en dos fechas, S12) (arriba) e IS13) (abajo)

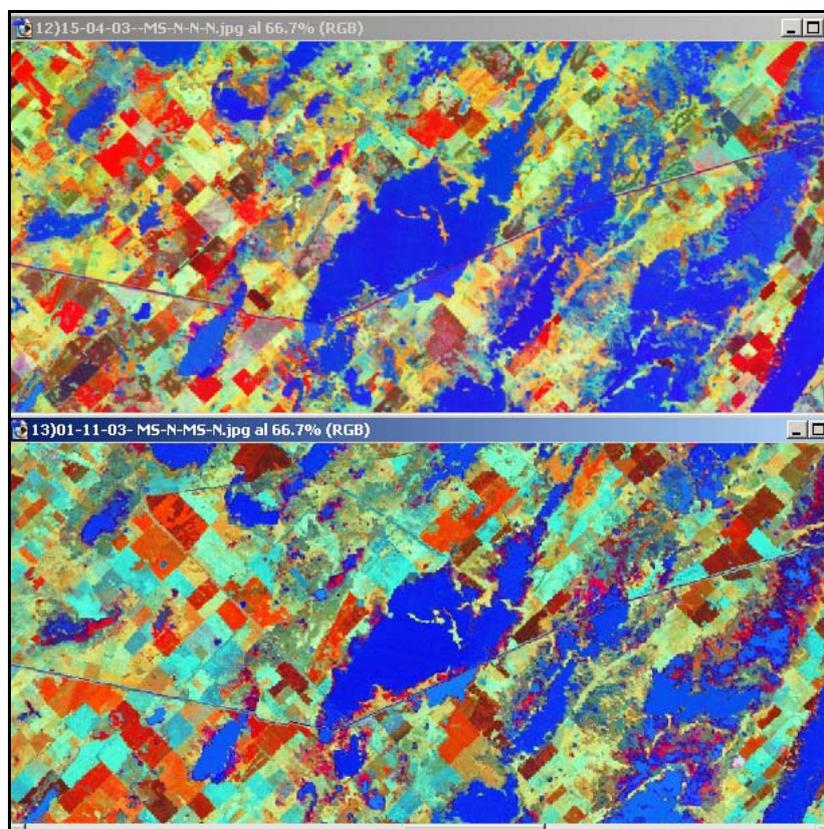


Figura 4.54 Sector del Establecimiento El Tostado en dos fechas, IS12) (arriba) e IS13) (abajo)

Al igual que se indicó precedentemente, los cambios en el complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas, y en Carlos Casares, son siempre menores, permaneciendo en todo el periodo estudiado con cantidades de agua más constantes que los otros sitios.

El año **2004**, se analizó sólo una fecha (IS14) 9 de noviembre; y en el año **2005** se analizaron IS de dos fechas: (IS15) 12 de marzo e (IS16) 5 de octubre.

El año 2004 fue normal tanto para PE (total 921mm) y TL (total 1,136mm), mientras que en el 2005 continuó siendo normal en PE (total 709mm), y seco en TL (total 734mm). El mes anterior al que se sacaron las tres IS, fueron normales en ambos partidos. En PE para ambos años hubo dos meses anómalos por exceso hídrico en 2004, julio y diciembre (113-268 mm, respectivamente), y durante el año 2005 hubo anomalías por sequías en los meses de otoño y principios de invierno.

En TL, en el 2004 julio, octubre y diciembre (117-150-307mm, respectivamente), por lo que la IS14) no registra este último evento máximo en TL. En el año 2005, se dan muy baja precipitación en un número importante de meses, y se concentran en tres: enero, febrero y marzo (89-95-211mm, respectivamente).

En general, no se aprecian diferencias importantes en la cantidad de agua que se observa en las IS 14) 15) y 16). Si bien, en algunos sectores se visualiza una disminución de agua, no resulta de la magnitud esperada. Por el contrario, y al igual que lo indicado en fechas anteriores, en el sector de Laguna Murphy se incrementa en algunos sectores, principalmente a la izquierda de dicha laguna (Figura 4.55). Igualmente en el sector correspondiente a Pehuajó, se aprecia algo más de agua en la IS16) respecto a la IS14) (Figura 4.56) no obstante haber transcurrido casi un año con déficit hídricos.

Se destaca que la IS16 del 5 de octubre fue anterior a la única lluvia importante del año en diciembre de 2005 (268mm). En otros sectores, como el complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas, el Establecimiento El Tostado en Pehuajó, Carlos Casares, no presentan diferencias en estas tres IS, no obstante la disminución en la precipitación.

En el año **2006**, se analizaron IS de dos fechas: (IS17) 25 de enero e (IS18) 21 de octubre. Tanto en PE como en TL, la precipitación de este año fueron normales (922- 856mm, respectivamente), y el mes anterior a la toma de estas imágenes fue en ambas fechas normal para PE, mientras que para TL fue normal en la IS17) pero seco en la IS18). En TL, la precipitación se concentra en los meses de enero, febrero y marzo; se tiene una gran sequía durante todo el otoño e invierno y en primavera aumenta la precipitación dando en octubre el único mes anómalo por exceso en octubre (184mm). La IS18) es del 21 de octubre, por lo que se estima recibe al menos parte de esta última precipitación. En PE, se dan dos meses anómalos por exceso, en enero y octubre (229-254mm, respectivamente) (Figuras 4.57 y 4.58).

Se pueden realizar iguales apreciaciones que en las IS correspondientes a los años 2004, 2005, al no haber entre las IS17) e IS18) la disminución en agua esperada y por el contrario, se producen variaciones irregulares, aumentos incluso en algunos sitios, principalmente en el sector de laguna Murphy. No se observan diferencias, en Carlos Casares y en Complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas entre la IS17) y la IS15 e IS16); sin embargo si se aprecia una disminución en la IS18) (Figura 4.57). Igualmente, en la IS18) se aprecia una disminución marcada en Pehuajó y en el Establecimiento El Tostado (Figura 4.58).

Consecuentemente hasta la fecha de la IS17) no aparecen diferencias importantes en las superficies de agua no obstante los meses secos transcurridos, pero a partir de IS18)

disminuye, incluso habiéndose producido en PE, dos lluvias importantes, la de enero y la de octubre, que en total suman 483mm, y en TL la de octubre.

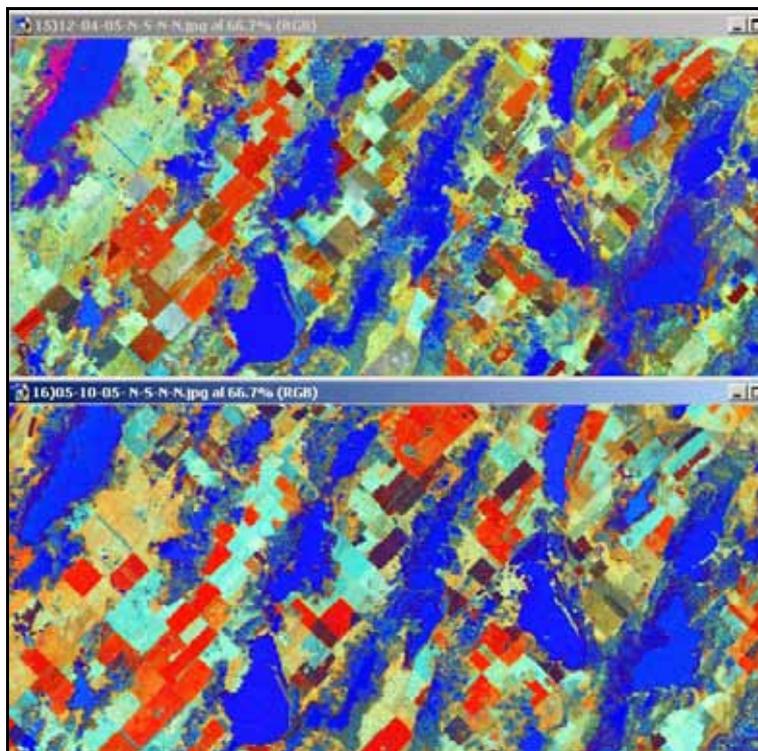


Figura 4.55 Sector de laguna Murphy en dos fechas IS15) (arriba) e IS16) abajo

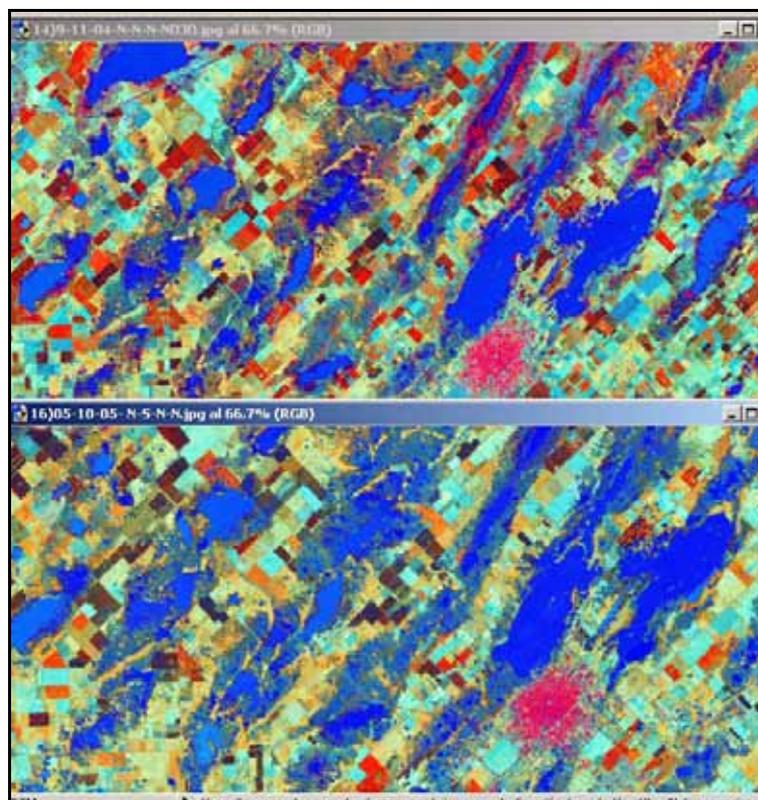


Figura 4.56 Sector de Pehuajó en dos fechas, IS14) (arriba) e IS16) abajo

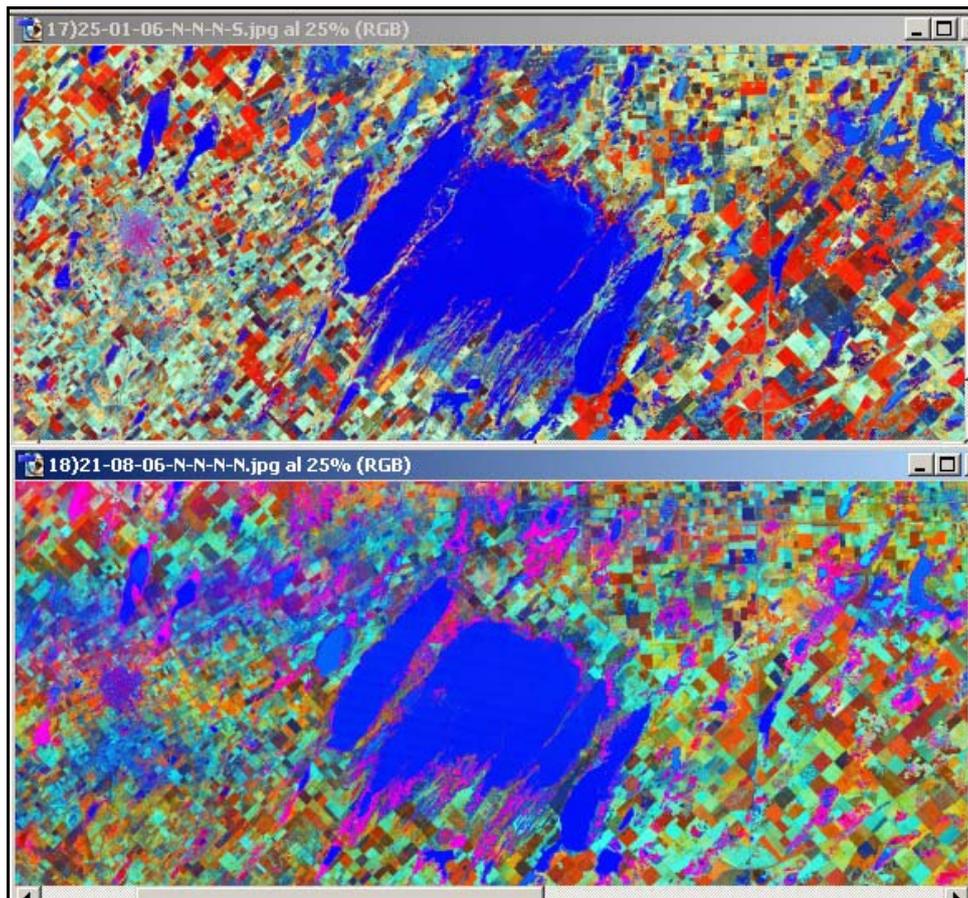


Figura 4.57 Sector del complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas en dos fechas, S17) (arriba) e IS18) (abajo)

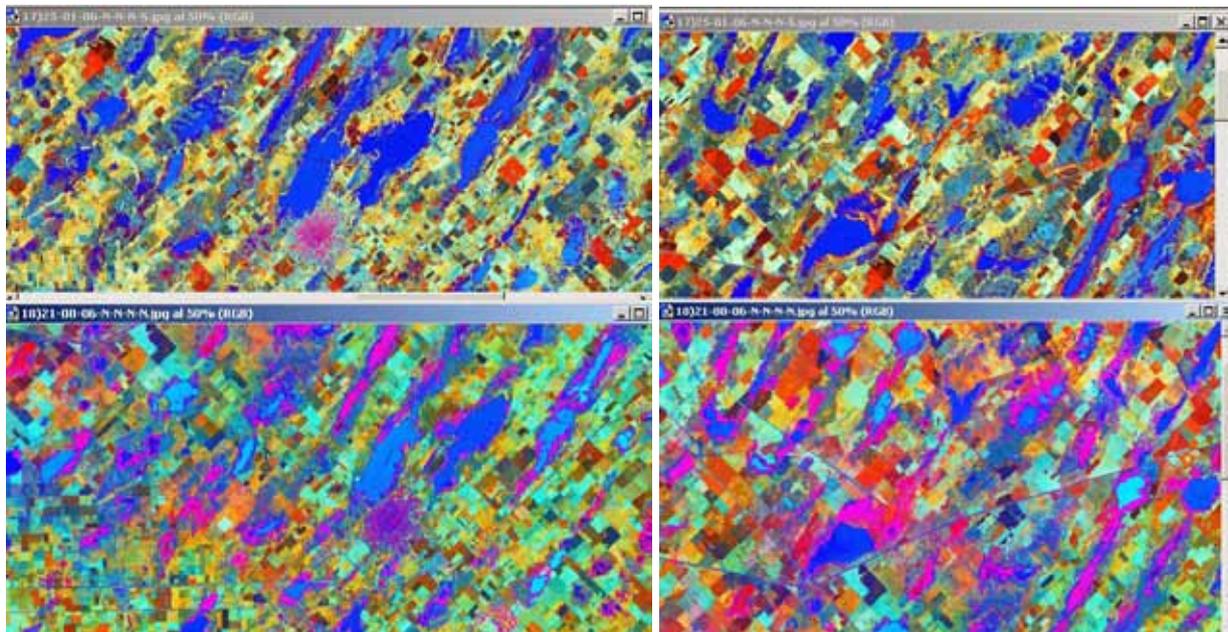


Figura 4.58 Sector de Pehuajó (izquierda) y Establecimiento El Tostado (derecha), en dos fechas IS17) (arriba en ambos sectores) e IS18) (abajo en ambos sectores).

En el **2007**, se analiza imagen satelital más cercana a la fecha de último, IS de fecha 17 de marzo. Durante marzo, se extrajeron un alto porcentaje de muestras de suelo y agua. Se aprecia en esta IS19) un aumento importante en las superficies con agua respecto a la IS18). La precipitación ocurrida en Pehuajó entre enero y marzo de 2007 fueron de 368mm. En la Figura 4.59, se compara el sector del complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas entre la IS18) e IS19); y en la Figura 4.60, se compara una vista general de las IS18) y IS19).

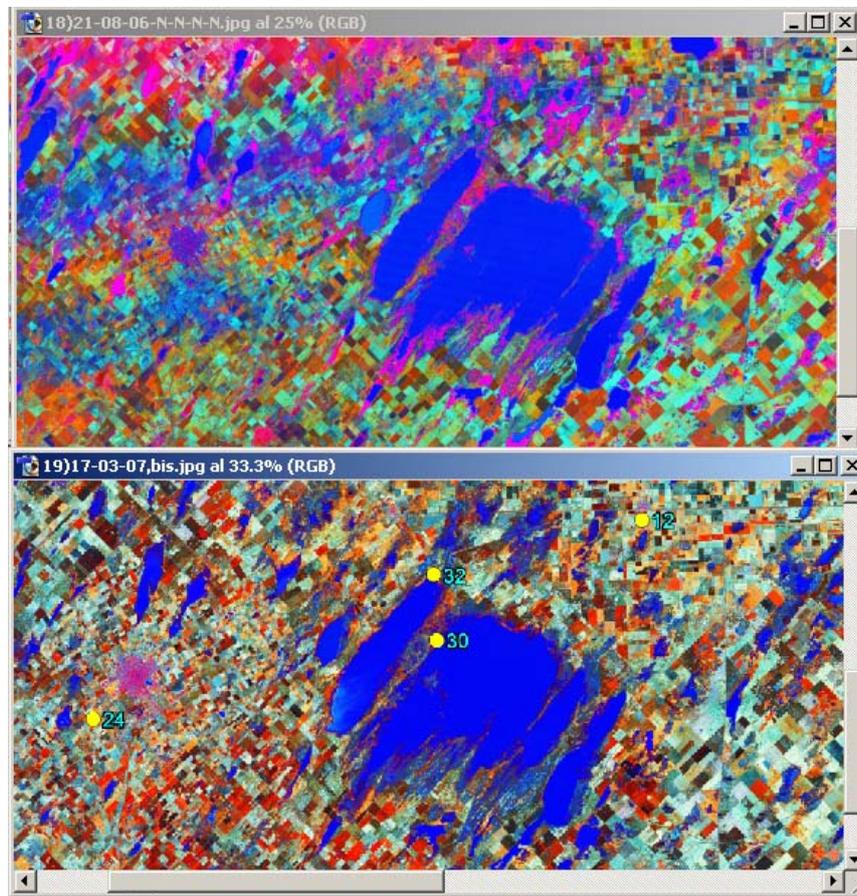


Figura 4.59 Sector del complejo lagunar El Hinojo- Las Tunas en dos fechas, IS18)(arriba) e IS19) (abajo)

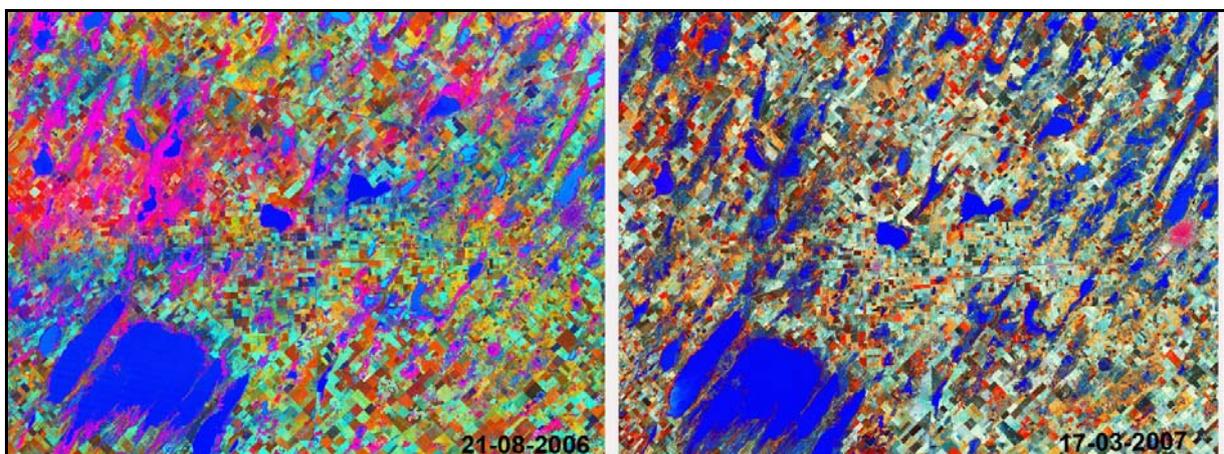


Figura 4.60 Vista general que incluyen sectores laguna Murphy y complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, en IS18) izquierda e IS19) derecha

4.2.3.2 Imágenes Satelitales Históricas Landsat MSS.

Se analizaron las *imágenes satelitales históricas* (ISH) facilitadas por el Centro de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Argentina, a través de la CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, R.A.) correspondientes a cuatro fechas: ISH1) 20 de diciembre de 1980; ISH2) 9 de noviembre de 1981; ISH3) 1 de diciembre de 1982; e ISH4) 14 de diciembre de 1984.

En la Figura 4.61 se presenta una vista general de estas imágenes, del sector al norte del complejo lagunar El Hinojo Las tunas, se destaca que en las ISH de 1980, 1981, y 1982, no se aprecia el sector correspondiente a Pehuajó, mientras que aparece en la fecha 1984, indicándose la ubicación de la ciudad de Pehuajó, y del Establecimiento El Tostado, ubicado en el partido de Pehuajó. (ambos sectores descritos en detalle en punto anterior sobre IS de 1997-2007).

Se destaca, en la Figura 4.61, en las ISH correspondientes a 1980, 1981 y 1982, el Río Quinto, que se describió su trayectoria en detalle en el punto 4.1. Como se indicó, este río se inicia en el sur de San Luis, y entra a Buenos Aires por el partido de Villegas.

En la Figura 4.62 se presenta el sector correspondiente a laguna Murphy y el complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas, y en la Figura 4.63, un detalle del sector de laguna Murphy.

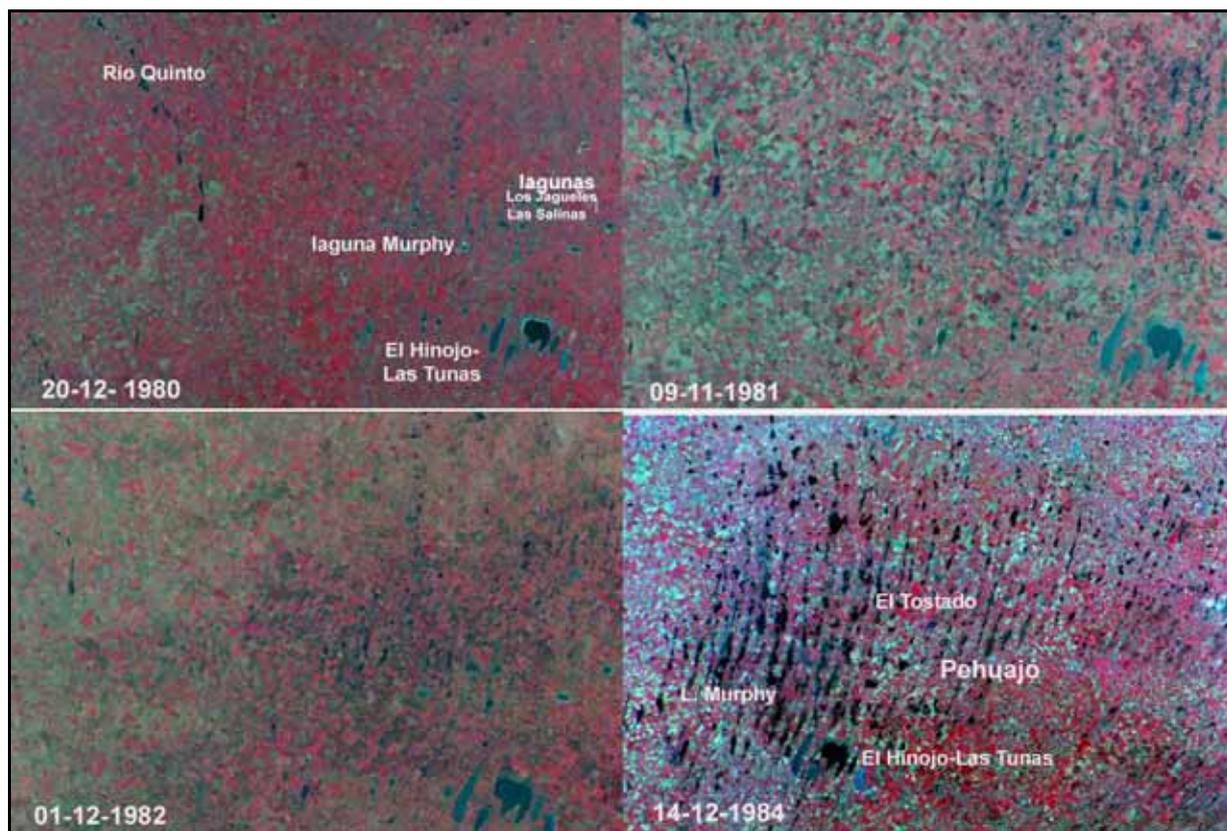


Figura 4.61 Vista general de ISH, al norte del complejo lagunar El Hinojo Las Tunas. Las ISH de 1980, 1981, y 1982, no se aprecia Pehuajó. En la ISH de 1984, derecha abajo, se observa además Pehuajó

A continuación se describe la precipitación ocurrida en Pehuajó y Trenque Lauquen y su correspondencia con la cobertura de agua en las ISH.

En el año **1980**; tal como se aprecia en Tabla 4.33 tanto para Pehuajó como Trenque Lauquen la precipitación correspondió a un año seco (total 691mm y 763mm, respectivamente). En PE y TL sólo el mes de abril fue anómalo por mayor precipitación (129 y 161mm, respectivamente). Esto se corresponde con lo observado en la ISH correspondiente a este año, en el cual se aprecia una situación general de muy escasa cobertura de agua (Figuras 4.62, 4.63 y 4.64).

En el año **1981**, en Pehuajó el año fue normal (879mm) y en Trenque Lauquen seco (922mm). Los meses anómalos por exceso fueron enero (244mm) en PE, y abril (107mm) en TL. Tal como se aprecia en la Figura 4.61 se observa un aumento de agua en superficie en algunos sectores respecto a la imagen de 1980, sin que haya habido precipitación que expliquen estas variaciones. En la Figura 4.62 y con más detalle aún en la Figura 4.63, se aprecia más claramente el aumento que se produce en los inter-médanos centrales de la ISH de 1981.

En el año **1982**, en Pehuajó el año fue lluvioso (1,083mm) y en Trenque Lauquen seco (970.5mm). Los meses anómalos por excesos hídricos fueron en PE septiembre (335mm) y octubre (165.6mm), y en TL sólo fue el mes de abril (159mm), si bien hubieron otros meses con abundante lluvia (enero y febrero). En Figura 4.61 se aprecia para esta fecha que se mantiene el aspecto general de la ISH de 1981, aunque disminuye ligeramente en algunos sitios, y se asemeja algo más a la ISH de 1980. Esto se aprecia con mayor claridad en las Figuras 4.63 y 4.64.

En el año **1984**, en Pehuajó el año fue lluvioso (1,078mm) y en Trenque Lauquen normal (1,094mm). En PE el mes anómalo por exceso fue febrero (393.6mm) y en TL febrero (291mm) y septiembre en el límite (110mm). Se observa en las Figuras 4.62, 4.63 y 4.64, un aumento generalizado e importante de agua en los sectores de Trenque Lauquen, aguna de Murphy y complejo lagunar El Hinojo-las Tunas, y principalmente en los inter-médanos de toda el área de Trenque Lauquen.

Así, se aprecia en la Figura 4.63 el inter-médano que pasa a la derecha de Laguna Murphy se une a dicha laguna. Sin embargo, disminuye la laguna de Las Salinas.

Respecto a la precipitación ocurridas en Trenque Lauquen, se destaca que no hubo años lluviosos desde 1975 hasta 1986, a partir del cual se inicia el ciclo húmedo, con excepción de 1978 que llovió 1,403mm, por lo que éste aumento marcado y generalizado que se produce en 1984, no puede ser explicado por la precipitación acaecida en el lugar, ni siquiera en las cercanas, tal como las ocurridas en el partido de Pehuajó, ya que como se observa, no existe una continuidad en el agua de superficie desde dicho partido hasta Trenque Lauquen, por lo que tampoco se aprecia la incidencia en superficie de la precipitación acaecida en el partido de Villegas, ubicado al norte de Buenos Aires, que fue lluvioso en 1984.

Tal como se indicó en antecedentes, y se reiteró en este apartado, algunos autores indican que las inundaciones se producen por agua de escorrentía que circula en "*manto*", esto no se observa en la IS de 1984. Por el contrario, se sugiere claramente que el aumento en los inter-médanos se produce por aporte de agua subterránea.

En Pehuajó, no obstante caracterizarse por ser más seco que TL, inicia su ciclo húmedo en 1982 hasta 1987. En la Figura 4.61, se aprecia claramente en la IS correspondiente a 1984 que la cantidad de agua en superficie en el sector correspondiente a Pehuajó, contrario a lo esperado, debido a los excesos hídricos acaecidos, es marcadamente inferior al presente en Trenque Lauquen que no tuvo años lluviosos, sino por el contrario secos y normales. El detalle del sector correspondiente a Pehuajó se presenta en la Figura 4.64.

En relación con la precipitación de otros sitios dentro de la provincia de Buenos Aires, y otros sitios que tienen vinculación con el área de estudio, en Pehuajó y Trenque Lauquen, se presentan a continuación algunas citas presentadas en punto 4.1, y comentarios del cuadro resumen sobre clima presentado en este apartado (Tabla 4.33).

Los años *previos inmediatos a 1980*, fueron de escasa precipitación en los partidos de Buenos Aires, con excepción de 1978 que fue lluvioso en Trenque Lauquen y en 1976 en Villegas. En las zonas más alejadas como en Mendoza se aprecia que comienza a darse precipitación más elevada en forma aislada.

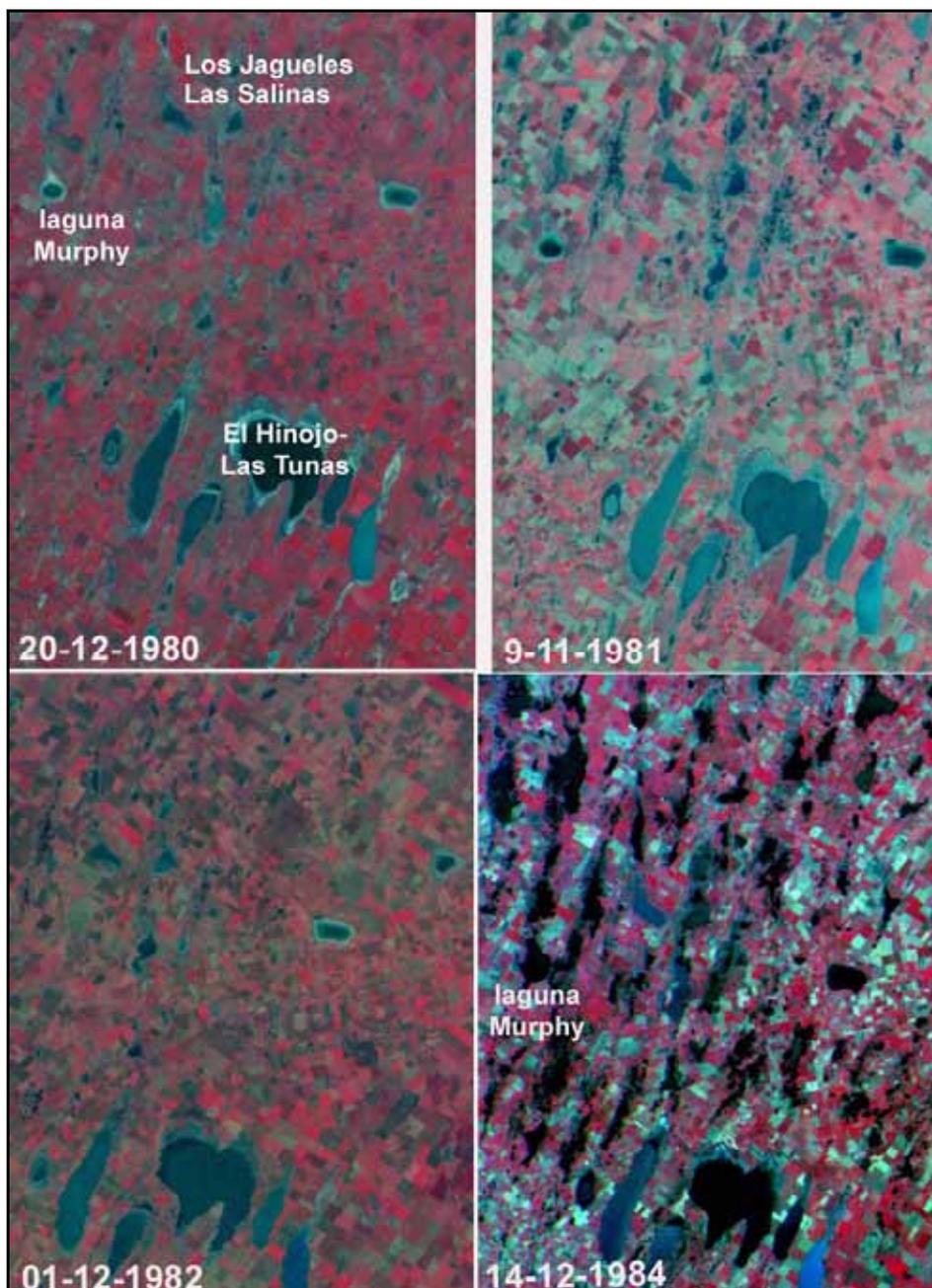


Figura 4.62 Sector correspondiente a laguna Murphy y el complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas, en cuatro ISH de 1980 a 1984

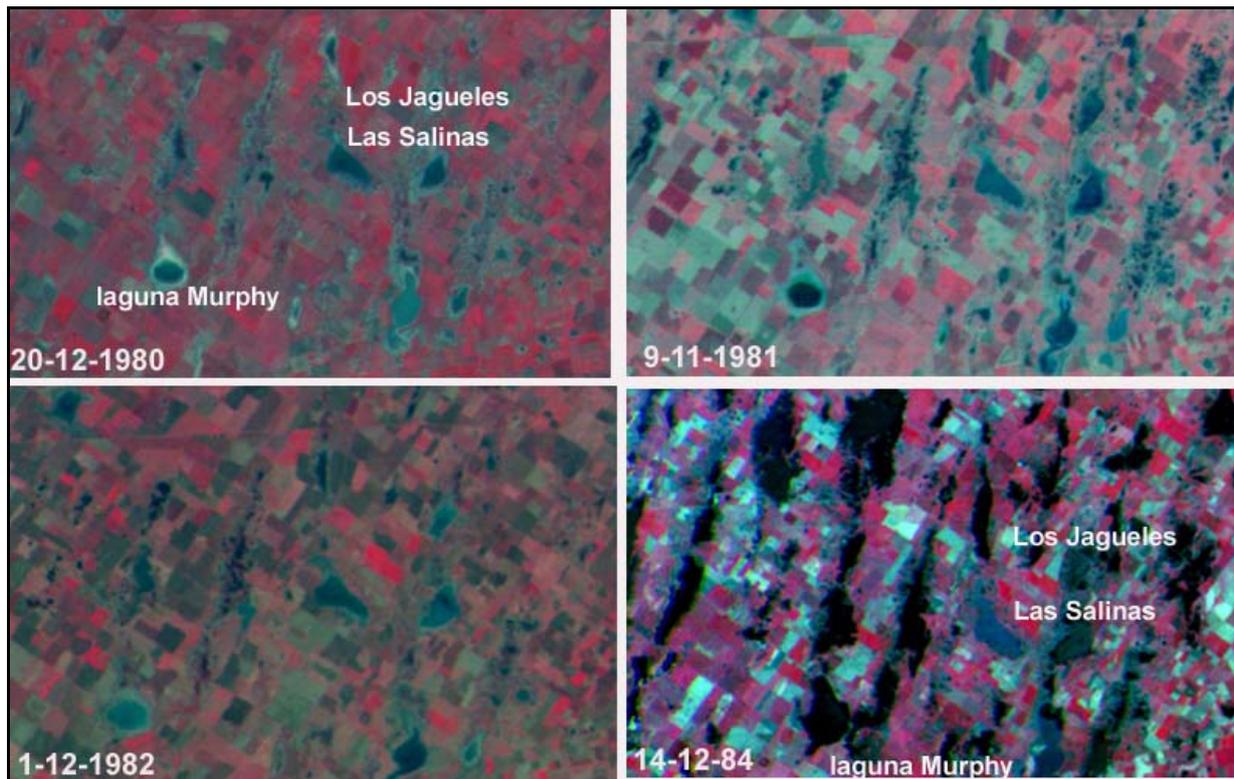


Figura 4.63 Detalle del sector de laguna Murphy en cuatro ISH entre 1980 y 1984

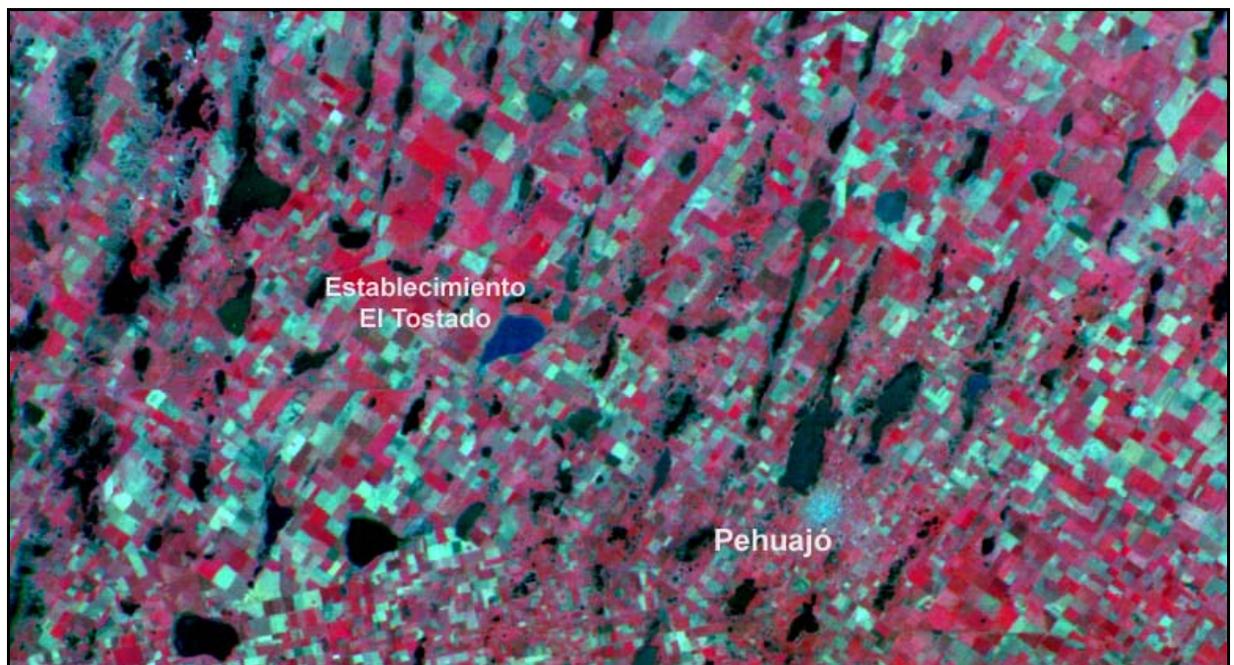


Figura 4.64 Detalle del sector correspondiente al partido de Pehuajó, ciudad de Pehuajó y Establecimiento El Tostado.

Como se indicó en punto 4.1 referido al clima, en Mendoza se dan ciclos húmedos 1972-1975, luego años intercalados en la década de 1980 y comienzan a registrarse importantes nevazones en forma alterna, destacándose, los de 1972 y 1982 que se suman al incremento

generalizado de agua de la región central Argentina reportada desde la década de 1970, y al aumento en el caudal de los ríos destacados por Norte *et al.* (2006).

Así, los caudales mensuales del Río Mendoza en todo su curso en el periodo 1957-1997 presentan una estrecha relación con los eventos cálidos ENSO del Niño. Se destacan el aumento de caudal principalmente en 1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, y las primeras manifestaciones del caso de ENSO de 1997, junto con la precipitación de la Cordillera Frontal del período **1972-1997**. El caudal máximo de la serie es asociado al primer año del evento cálido de **1982-1983** considerado hasta 1997-98, como el más intenso del siglo.

En San Luis, y provincias vecinas, indican el corrimiento de las isohietas desde 1950, con mayor precipitación, que afecta a cerca de 4 millones de hectáreas, donde actualmente la precipitación anual es mayor a 500mm en los últimos 50 años (Berton *et al.*, en Echeverría *et al.*, 2006). Igualmente, Garay y Veneciano (2005) coincide en este aumento desde 1950 en la precipitación de la región de San Luis, y destaca que para Villa Mercedes valores anuales de precipitación a partir de 1950 siempre superior a 600mm, y a partir de **1975** la mínima anual fue siempre superior a 500mm, con excepción del año 2003 que disminuyó a 439.8mm.

Asimismo, en Anguil, La Pampa, se producen años lluviosos, tal como se indicó en punto 4.1, desde el año 1971 se inicia el período húmedo. En Laboulaye al sur de Córdoba no se registran aumentos de precipitación cercanos a 1980, recién en 1997 comienzan las lluvias abundantes. Igualmente, en Rufino no hubo largos periodos lluviosos, y no se registraron años lluviosos en las cercanías de 1980.

Respecto a localidades del norte de Buenos Aires, se destaca que Villegas fue lluvioso en 1976 (1,216mm), y en 1984 (1,325mm), sin embargo, tal como se comentó en el punto 4.1, al año 1976 tuvo durante 20 años precipitación clasificada entre muy seca, seca y normal, y el único periodo de lluvias abundantes (años lluviosos) se produjo sólo entre 1984 y 1988, con excepción de 1986

4.2.3.3 Comparación de Imágenes Satelitales históricas Landsat MSS de 1980 a 1984, con Imágenes satelitales Landsat 5 y 7 de 1997 a 2007

En la Figura 4.65 se comparan las ISH de tres fechas, 1980 (ISH1), 1981(ISH2), y 1984 (ISH4) con IS seleccionadas entre los años 1997 y 2007 (IS1, IS4, IS8, IS11, IS16, IS18, IS19), en los sectores de estudio indicados en punto 4.2.3.1, laguna de Murphy y alrededores (al norte), y complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas (al sur), pertenecientes al partido de Trenque Lauquen.

En la Figura 4.66, se presenta un detalle del complejo lagunar El Hinojo Las Tunas de las ISH1) ISH2) e ISH4).

En la Figura 4.67 se compara un detalle de tres ISH (1980-1984) con IS seleccionadas de los años 1997 a 2007, en el sector de laguna Murphy (M), lagunas Las Salinas-Los Jagueles (J), y se indica el inter-médano (I) que se ubica entre ambas lagunas.

Si bien es claro, que la precipitación del sitio aumentan el agua de superficie, dando lugar incluso a lagunas temporales, es también claro que existe un aumento de agua en sectores importantes que no responden a las lluvias acaecidas en el sitio. Si bien esto fue analizado en punto 4.2.3.1, y se indicó en cada una de las fechas las imprecisiones y correspondencias entre lo observado en el agua superficial y precipitación, la cobertura de agua desde la IS2) del 28 de agosto de 1997 hasta la IS17) del 25 de enero de 2006 fue en general tan importante, que a simple vista, genera la impresión que los cambios en la cobertura superficial del agua se producen en forma directa a la precipitación.

Sin embargo, confirmando lo que se mencionó respecto a la ausencia de correspondencia que en ocasiones se observa entre ambos hechos, en la Figura 4.63 se puede apreciar más claramente lo indicado al respecto. Así, tal como se analizó en las ISH presentadas precedentemente, en Trenque Lauquen para estas fechas (punto 4.3.2.2), no hubo precipitación que justifiquen el marcado aumento de agua en superficie registrado en 1984.

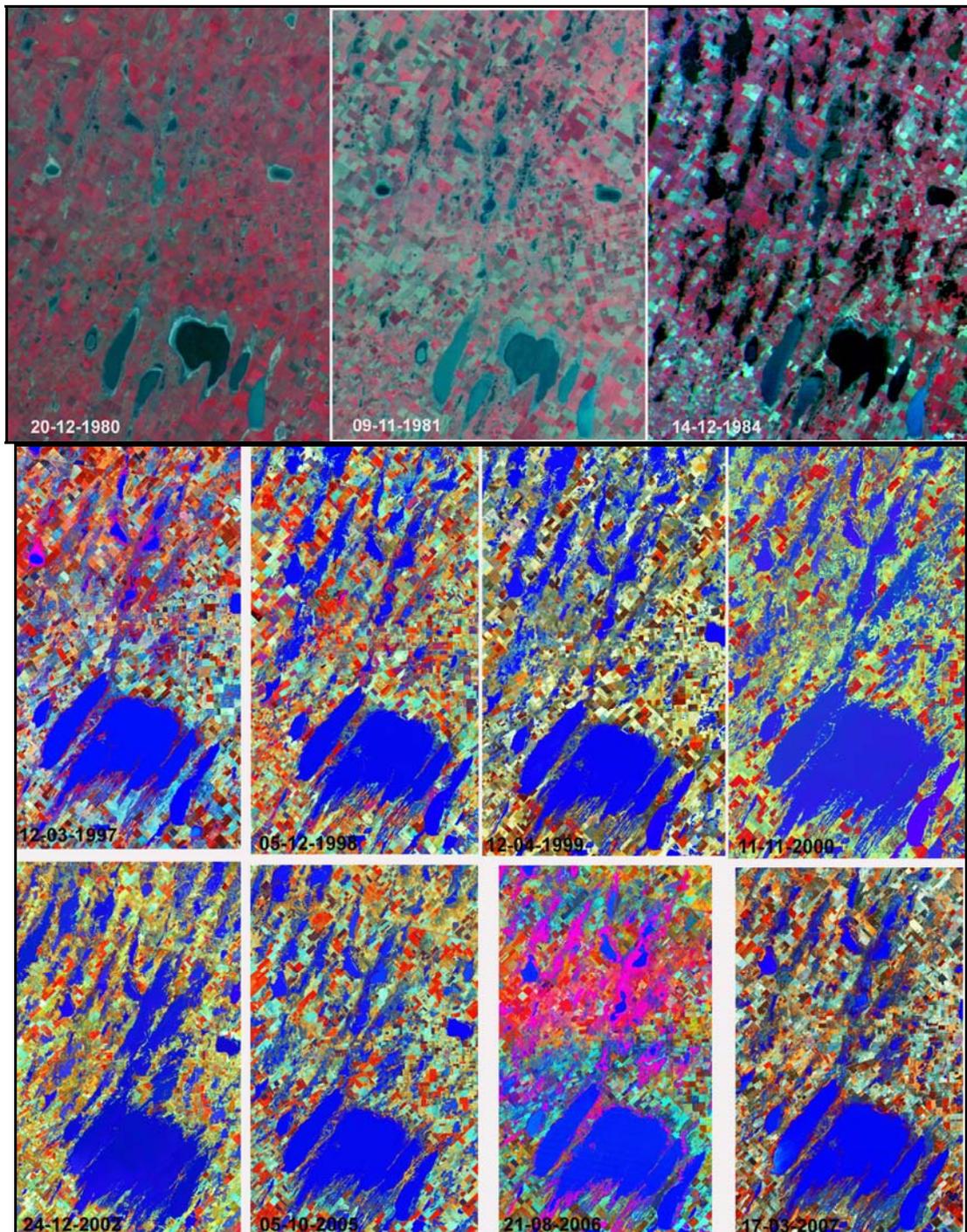


Figura 4.65 Complejo lagunar El Hinojo Las Tunas en ISH(1980-1984) e IS(1997-2007)

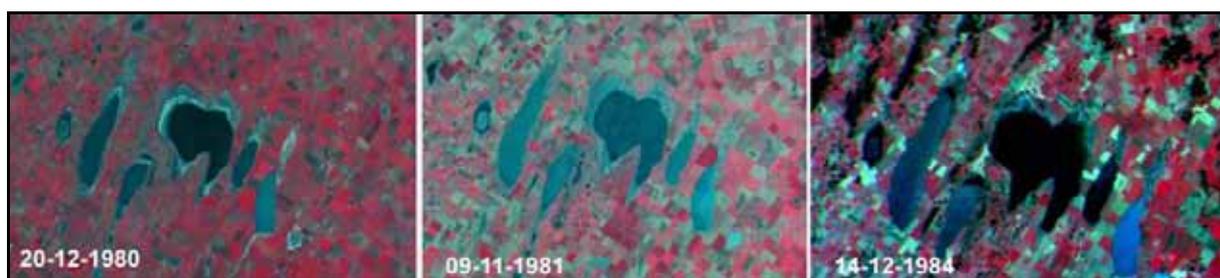


Figura 4.66 Detalle del complejo lagunar El Hinojo Las Tunas en ISH.

Asimismo, si estos se analizan respecto al aumento de agua en superficie producido en los años posteriores a 1997, luego de varios años de excesos hídricos en Trenque Lauquen, con 11 eventos anómalos lluviosos entre 1986 y 2002 (Tabla 4.33), la cantidad de agua debería ser aún mayor, si es que dependiera exclusivamente de las lluvias. En forma genérica puede afirmarse que la cobertura de agua en superficie en la ISH de 1984 es comparable a las importantes coberturas de agua que se dan principalmente en los años 1998, 1999, 2000, 2002 y 2005.

Por el contrario, dicha cobertura de agua en 1984 es significativamente mayor a la observada en 1997 y 2006, lo cual no se corresponde con la precipitación, ya que 1997 fue un año lluvioso en TL, y si bien 2006, fue seco, y tendría a priori una correspondencia con una menor cobertura de agua, el año 2005 también fue seco, y sin embargo, la cobertura de agua se mantuvo.

De esta apreciación genérica, resaltan marcadas diferencias en el **complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas**, y son las que se aprecian con mayor detalle en la Figura 4.66. Si bien, se observa un incremento en dicho complejo entre la ISH de 1980 y la de 1984, tal aumento ha sido marcadamente inferior al que se produjo en años siguientes, que toma dimensiones significativamente mayores. Este complejo, si bien muestra variaciones entre los años 1997 y 2007, en general, tal como se indicó en punto 4.3.2.1, el mismo, junto con el sector correspondiente a Carlos Casares, fueron los sitios que menos respondieron a los cambios en la precipitación, por el contrario se mantuvo relativamente constante. Se destaca un aumento en su superficie en el año 2000-2002, en coincidencia con grandes precipitación (TL y PE entre 1999 y 2002 fueron lluviosos).

Sin embargo, otros años secos, como el año 2006, con años previos también muy secos, secos o normales desde el año 2003 en los partidos de TL y PE, no disminuye significativamente la superficie del complejo, por el contrario, sólo se aprecia el color rosa fuerte (fucsia) bordeando el contorno de las lagunas, que denota disminución de agua, en todo el resto del área, disminuye el agua marcadamente ya que prevalecen en amplios sectores el mencionado color fucsia (Figura 4.65, IS de 21 de agosto de 2006).

En la Figura 4.67, se puede visualizar en detalle la evolución de la cobertura de agua entre las ISH y las IS de la última década. En estas se aprecia más claramente lo mencionado para la Figura 4.65, respecto a la falta de concordancia entre las lluvias y cobertura superficial de agua en este sector de la **laguna Murphy**. Así, en la ISH de fecha 14 de diciembre de 1984, dicha laguna (M) se une al inter-médano que pasa a su derecha (I), y es coincidente con lo que sucede en la IS de fecha 5 de diciembre de 1998. Si bien en otras fechas el inter-médano (I) se aprecia aumentado en su superficie, no llega a unirse a la laguna. Incluso en momentos de máxima inundación como en el 2002. Incluso en este último año, se aprecia una disminución de este inter-médano, mientras que otros inter-médanos aumentan.

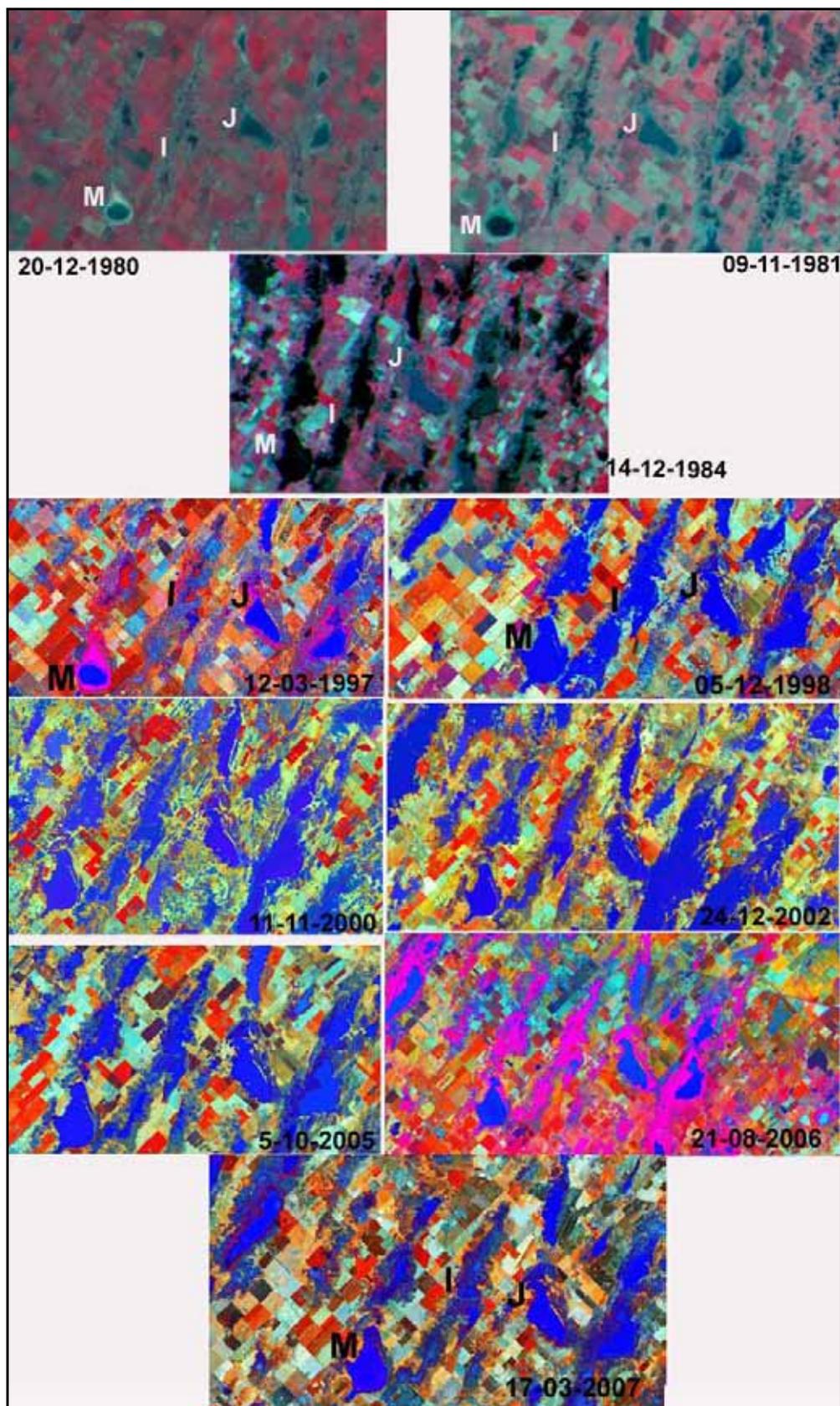


Figura 4.67 Detalle de las ISH (1980-1984) e IS (1997-2007) en el sector de laguna Murphy (M), inter-médano (I), y lagunas Las Salinas- Los Jagueles (J).

Otro sitio a destacar para analizar la evolución del agua son las **lagunas Las Salinas y Los Jaguales**, indicada con J en la imagen (Figura 4.67), estas son lagunas permanentes, y se observan en las ISH desde 1980, y aunque cambia su superficie, uniendo sus aguas o retirándose del inter-médano que pasa por su derecha, también se aprecia que sus cambios no siempre responden directamente a la precipitación acaecida. Así, tal como se mencionó, en 1984, no obstante producirse un aumento generalizado en la cobertura de agua, dichas lagunas disminuyen en el tamaño observado.

Se destaca el cambio de color, negro intenso en los sitios donde aumenta la cobertura de agua, y su profundidad, y la laguna Las Salinas con tono gris. Al igual que lo indicado respecto a la laguna Murphy para la fecha del año 2005, en la laguna Las Salinas se mantiene e incluso aumenta su cobertura con agua, no obstante ser años secos o normales desde 2003. Si existe correlato en la IS del 2002, donde la laguna se une claramente al inter-médano que pasa hacia su derecha, pero no ocurre en el año 1998, que como se describió si ocurre entre Laguna Murphy y su inter-médano lateral derecho.

Por lo expuesto, se aprecia que los cambios en la cobertura de agua, no responden en forma directa a la precipitación del sitio ni siquiera de sitios cercanos, ni el agua aumenta o disminuye en un sitio u otro en función de las pendientes regionales o locales, ya que la cobertura de agua no se acumula siempre en iguales sectores, aunque puedan apreciarse tendencias crecientes ante aumento creciente de la precipitación acaecida. Esto significa que ante un evento de exceso hídrico, se produce aumento de agua en algunos sectores, y en otros incluso hasta disminuye, mientras que en otros eventos, el aumento se producen en otros sectores, por lo cual confirma que existe aporte subterráneo que se encuentra influenciado por precipitación ocurridas en otros sitios y posiblemente en otro tiempo.

A modo de síntesis en la Tabla 4.35 se presentan valores de superficie de situaciones extremas en cobertura con agua:

- ⇒ 20 de diciembre de 1980 y 21 de agosto de 2006, con menor superficie de agua en la imagen completa
- ⇒ 28 de agosto de 1997, 9 de marzo de 1998, y 10 de febrero de 2002, con elevada cobertura de agua y situaciones de elevadas lluvias en el área.
- ⇒ 14 de diciembre de 1984 y 17 de marzo de 2007, elevada coberturas de agua sin épocas de lluvias excesos.

Tabla 4.35 Superficies de lagunas e inter-médanos (km²) en secuencia de imágenes satelitales entre 1980 y 2007

Cuerpo de agua	Imagen 20-12-80	Imagen 14-12-84	Imagen 28-08-97	Imagen 08-03-98	Imagen 10-02-02	Imagen 21-08-06	Imagen 17-03-07
Laguna Murphy	7.45	6.54	6.04	7.31	7.53	4.94	6.83
Inter-médano LM	0.75	16.34	5.01	15.28	18.41	0.44	17.20
El Hinojo-Las Tunas	273.00	234.60	228.65	171.87	389.42	165.62	290.17
Laguna El Tostado		8.85	3.87	6.20	22.02	6.02	9.81

Tal como se indicó la superficie de la laguna Murphy no depende de la precipitación, su superficie resulta semejante en todas las fechas, con excepción de 2006.

El inter-médano que pasa a la derecha de la mencionada Laguna Murphy (LM), aunque presenta variaciones más marcadas en su cobertura con agua que la LM, tampoco se modifica en forma directa a la precipitación, por el contrario, presenta variaciones que no se atribuyen a las lluvias acaecidas en el sitio.

Igualmente, el complejo El Hinojo-Las Tunas, no presenta variaciones que respondan con la precipitación del sitio. Si bien en momentos de máxima inundación como en el 2002 presenta la mayor superficie, en otras fechas sus cambios no son tan marcados como los que se dan en la precipitación acaecida en el lugar.

Respecto a la laguna de El Tostado, presenta una mayor asociación con las épocas de precipitación, aunque no disminuye como es de esperar en el 2006.

RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

La *combinación de bandas de imágenes satelitales* georreferenciadas, mediante el uso de 19 algoritmos, permitió seleccionar el uso del algoritmo ***Tasseled Cap***, al discriminar claramente las diferencias entre sectores afectados de los no afectados por las inundaciones. Así, este algoritmo, permite identificar cuerpos de agua, humedad, y características de suelo asociado, lo cual se estableció a partir de valores medidos en suelos, e información adicional del sitio (grado de degradación, vegetación asociada, y cobertura vegetal). Las variables del suelo medidas fueron, conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción sodio (RAS), pH, y materia orgánica. La CE es la variable edáfica que revela diferencia en el color de las imágenes que se vinculan con degradaciones. Por el contrario, el pH, RAS, y materia orgánica, no permiten establecer correlaciones visuales tan claras. No obstante, la materia orgánica puede constituirse en un elemento adicional de análisis, principalmente cuando la misma se encuentra en nivel bajo. La vegetación también presenta una buena correlación con los colores observados.

Si bien para la situación estudiada, es clara la tendencia observada entre los colores y el nivel de degradación asociado a la inundación, medido en CE y tipo de cobertura vegetal, esto debe ser estudiado con más detalle a fin de establecer con mayor precisión las tendencias observadas. Se destaca que si bien existe una tendencia a determinados colores en función del elemento del terreno que sea, se recomienda una confirmación de variables edáficas y cobertura vegetal en campo en cada fecha a fin de efectuar la extrapolación para áreas mayores

Consecuentemente, el algoritmo *Tasseled Cap* con una profundización de las asociaciones entre lo observado en las imágenes, y variables medidas en el terreno, se constituye en una herramienta que permite definir las zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga.

Del procesamiento digital de imágenes de satélite, fotografías aéreas, y cartas planialtimétricas, se obtuvieron ***mosaicos, y modelos de elevación digital*** de un sector representativo del área de estudio que permitieron confirmar el lento movimiento que tiene el agua de escorrentía dada la escasa pendiente regional y local. Para el sitio estudiado en detalle, los médanos se corresponden con curvas entre 88 y 91msnm, y los sectores de lagunas, entre 85 y 87msnm. Las curvas de nivel de mayor cota, en general, están en el sector noroeste y van disminuyendo en forma irregular hacia el sureste, lo que confirma la pendiente general N-S indicada en la bibliografía.

Los sectores más bajos del mosaico de cartas topográficas se corresponden con los ambientes algo más bajos de Trenque Lauquen (localidad Berutti, próximo al complejo Hinojo Las Tunas). Sin embargo, se dan en este sitio, ambientes que se reiteran por toda la región, por ejemplo, la curva de nivel de la laguna El Jagüel se ubica alrededor de la cota 86msnm, y el sector vecino más alto tiene 90.9msnm. Igualmente, la laguna de Murphy, se corresponde con la curva de nivel de 85msnm, y sus sitios cercanos se ubican como máximo en 90msnm.

La *generación* del **modelo digital de elevación**, a partir del mosaico de las cartas planialtimétricas y la imagen satelital correspondiente, permite visualizar lo expresado precedentemente en forma gráfica y lo explicita, mediante diferencias de color. Este procedimiento facilita la interpretación de los posibles movimientos del agua, la magnitud de cambios en el relieve del terreno, y de este modo, se contribuye a esclarecer el origen del agua en un sitio. En cada caso, los colores pueden modificarse, sin embargo, a fin de facilitar los estudios de la escorrentía superficial del agua, resulta promisorio seleccionar una combinación de los mismos que permitan extrapolar y analizar en forma regional dicha escorrentía y los sectores posibles por su ubicación como zonas de recarga o descarga de agua.

Se aprecia que las unidades geomorfológicas denominadas “*depresiones intermedanas*” constituyen los sectores más bajos respecto a los médanos, siendo relativamente planos en su extensión e interrumpidos en diversos sitios de su trayecto por lagunas temporarias y permanentes de forma relativamente circular (antiguas cubetas de deflación), y que si bien el agua que escurre debe tomar necesariamente estos sectores más bajos, con frecuencia se observa que aumentan en su superficie por agua subterránea, ya que sólo por sectores se aprecia el continuo de agua que indican algunas publicaciones. Si bien la observación general de las imágenes posibilita esta apreciación, porque de hecho ocurre en muchos sectores, una observación de detalle revela claramente la interrupción que se produce en su trayecto, con sectores sin agua en superficie, lo que permite aseverar que no sólo es agua de lluvia la que incrementa la cobertura en agua.

Se destaca, que si fuera la pendiente regional y la local la responsable exclusiva de la concentración por sectores del agua de lluvias en exceso del sitio y partidos vecino, tal como se indica en diversas publicaciones, debería apreciarse una continuidad en la circulación de la escorrentía superficial que no se observa en forma generalizada, y principalmente las acumulaciones de agua ocurrirían en forma más marcada en los mismos sitios, que es el que queda definido por la pendiente general.

Del análisis multi-temporal de 23 imágenes satelitales del área de estudio, 4 correspondientes a las denominadas imágenes históricas (Landsat MSS, provistas por el Centro de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Argentina) entre los años 1980 y 1984; y 19 imágenes satelitales entre los años 1997 y 2007 (provistas por la CONAE Comisión Nacional de Estudios Espaciales, Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, R.A.), se aprecia que los eventos de exceso hídrico producidos durante todo este tiempo, no se manifiestan en forma análoga ni conducen a concentración de agua en superficie en forma uniforme.

Esto significa que ante un evento de exceso hídrico, se produce aumento de agua en algunos sectores, y en otros incluso hasta disminuye, mientras que en otros eventos de exceso hídrico los aumentos se producen en diferentes sectores. Se aprecia además, cuerpos de agua que aumentan sin un correlato con la precipitación, y que su único origen posible es el agua subterránea.

Si bien se aprecia en muchas de las imágenes una correspondencia entre épocas de lluvias copiosas en la región y un aumento de agua en muchos sectores, generando por ejemplo, lagunas temporarias, existe además un componente subterráneo que debe también incorporarse en la comprensión del fenómeno de inundación.

Se destaca la ISH de 1984, que muestra un aumento generalizado de agua en superficie en los sectores de **Trenque Lauquen**, *laguna Murphy*, *laguna El Jaguel*, y *alrededores*, principalmente *inter-médanos vecinos a estas lagunas*, aunque no del complejo Lagunar Hinojo-Las Tunas que tuvo incrementos menores. Esto se produjo sin que haya existido precipitación en dicho sitio,

sino que por el contrario, precedieron varios años secos y normales. Los años clasificados como lluviosos en TL, se inician a partir de 1986 hasta 2002, con 11 años lluviosos, y sin embargo, el aumento de agua en estos sectores por estas lluvias elevadas en forma continúa condujeron a resultados semejantes a los observados en 1984 sin lluvia, e incluso en algunos sectores con menos agua. En general en este sector de TL, hay variaciones importantes y en forma irregular en la cantidad de agua de cobertura, principalmente de los Inter-médanos en un gran número de imágenes satelitales sin una correspondencia lineal con la precipitación acaecida.

Un sector que presenta un comportamiento particular ante los cambios hídricos es el *complejo lagunar Hinojo-Las tunas*, que si bien, como se indica en las ISH no muestra cambios entre 1980 y 1984, a partir de la IS de 1997 se encuentra muy crecido respecto a las ISH, y relativamente se mantiene así, con variaciones poco marcadas, hasta el 2007. Consecuentemente, no muestra cambios significativos ni que puedan vincularse con la precipitación acaecida como el factor determinante de su evolución.

Por el contrario, **Pehuajó** tuvo eventos lluviosos desde 1982, hasta 1987, y si bien en la ISH de 1984, se aprecia un aumento de agua en superficie, fue muy inferior a la producida en Trenque Lauquen para igual fecha (con precipitación normales), e incluso resultó inferior a la cobertura de agua que se observa en otras fechas, con lluvia igual e incluso inferior para Pehuajó. En este partido, las variaciones son marcadas. Se destaca por ejemplo que en el mes de febrero de 1984, llovió 394mm, y esto no se visualiza de igual modo que en otras imágenes que podrían ser comparables por las lluvias acaecidas, tal como la IS6) del 12 de abril de 1999, que habiendo sido también un año lluvioso, y con 412mm precipitados en marzo (un mes anterior a la toma de la imagen), ésta presenta una manifestación superficial muy diferente, claramente se aprecia la precipitación como esparcida en toda la superficie, además de la presente en los inter-médanos, lo cual confirma que lluvias excesivas no se tornan en escorrentías continuas, al menos no siempre y en forma general.

Igual apreciación pueden realizarse para otras fechas, en las cuales en forma variada se producen incrementos y disminuciones de la cobertura de agua, no obstante haberse dado una secuencia prolongada de años húmedos entre 1999 hasta 2002 tanto en Pehuajó como en Trenque Lauquen. Se destaca, que en virtud de la elevada cantidad de agua presente en superficie entre las IS2) del 28 de agosto de 1997 hasta la IS17) del 25 de enero de 2006, genera la impresión que los cambios en la cubierta superficial del agua se producen en forma directa a la precipitación, y conducen a sobreestimar el efecto del agua en el sitio, que si bien resulta trascendente en amplios sectores, no son los únicos determinantes de la inundación.

Es destacable también, que cuando se producen épocas secas, incluso prolongadas, tampoco se visualizó una disminución acorde con esto, tal como ocurrió entre los años 2003 y 2005 donde recién en el 2006 disminuye la cobertura de agua, aunque nuevamente vuelve a aumentar en el 2007, habiendo transcurrido tres meses con precipitación normal (enero, 141.4mm; febrero 143mm, y marzo 85mm).

Otra discordancia entre las lluvias acaecidas y lo observado en el terreno, se puede apreciar en el 2006. Así, enero de 2006, la precipitación fue de 230mm, y en octubre de 254mm, ambos meses anómalos por excesiva lluvia, si bien el total de lluvia anual total fue normal. Consecuentemente, la respuesta en la cobertura fue a la inversa a lo esperado.

Otros partidos de Buenos Aires que pueden haber incidido en el agua de cobertura del área de estudio, recién podrían haber influido a partir del año 2000. Si bien, se destaca el año lluvioso de 1984 en Villegas, al norte de TL, que tuvo en febrero una precipitación de 430mm, la imagen fue tomada en diciembre de 1984 y no resulta suficiente la cantidad de agua como para generar

tal inundación en TL, máxime cuando igual cantidad de agua en Pehuajó, no llegó a generar igual efecto en el propio partido donde ocurrió dicha precipitación. Se destaca además, que en general Villegas no hubo eventos lluviosos que expliquen los aumentos en cobertura de agua de partidos aguas abajo, tal como TL.

Así, Villegas tuvo años lluviosos sólo en 1976, 1984, y del año 1983 a 1988, con excepción de 1986, luego no tuvo hasta la fecha lluvias elevadas. Igualmente, otros partidos al norte de Buenos Aires, tampoco tuvieron valores de precipitación que expliquen por si mismo, los excesos ocurridos en el área de estudio.

No obstante, la alta precipitación ocurrida en años consecutivos en el área y partidos vecinos, sumado a la elevada precipitación producida fuera del ámbito provincial, fue aumentando la recarga y consecuentemente, influenciaron las zonas de descarga, tal como sería toda esta área de estudio a nivel regional.

Así, se destaca que todo el centro del país tuvo aumento de precipitación, del caudal de ríos, y nevazones en la Cordillera, que han provocado una mayor carga hidráulica en zonas de recarga, y la resultante descarga en los sitios estudiados.

Se indica aumento generalizado de precipitación desde la década de 1970 en la zona cordillerana, y en las provincias de Mendoza, San Luis, La Pampa, y Córdoba, situación variable según localidad y año. Se destaca la relación encontrada entre los eventos cálidos del Niño y la ocurrencia de lluvias, nevadas y crecidas de ríos, entre estos eventos; los que más influenciaron en la situación hídrica de la región central del país, fueron los casos de 1982-1983, 1986-1987, 1991-1993, y las primeras manifestaciones del caso de 1997.

CONCLUSIONES PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

- El algoritmo Tasseled Cap con una profundización de las asociaciones entre lo observado en las imágenes, y variables medidas en el terreno, se constituye en una herramienta que permite definir las zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga. Asimismo, este algoritmo, permite discriminar claramente las diferencias entre sectores afectados de los no afectados por las inundaciones. Las variables del terreno que se asocian a la degradación edáfica y lo observado en las imágenes son la conductividad eléctrica, y vegetación asociada, pudiendo ser útil medir además la materia orgánica.
- Los modelos de elevación a partir de las imágenes satelitales y cartas planialtimétricas, permiten visualizar la dirección de la escorrentía. Para el sitio estudiado en detalle (Trenque Lauquen), los médanos se corresponden con curvas entre 88 y 91msnm, y los sectores de lagunas, entre 85 y 87msnm. Este procedimiento facilita el estudio de la escorrentía y la magnitud de cambios en el relieve del terreno, y de este modo, contribuir a establecer el origen del agua en un sitio. La selección de colores y sus correspondientes cotas, pueden constituirse en una herramienta para la identificación de zonas de recarga o descarga de agua a nivel local y regional, a partir de la extrapolación de sitios representativos.
- Los eventos de exceso hídrico producidos durante el tiempo analizado, no se manifiesta en forma análoga ni conducen a concentraciones de agua en superficie en forma uniforme.
- La precipitación del sitio aumenta el agua de superficie dando lugar incluso a lagunas temporarias, no obstante los cambios en la cobertura de agua, no responden en forma directa y exclusiva a la precipitación del sitio ni siquiera de sitios cercanos.
- El agua no aumenta o disminuye en un sitio u otro en función sólo de la pendiente regional o local, ya que la cobertura de agua no se acumula siempre en iguales sectores, aunque pueda apreciarse tendencias crecientes ante aumento creciente de precipitación.

- No se observa que se colmaten los sectores de inter-médano y lagunas, tampoco se observa una continuidad en la escorrentía superficial del agua, por el contrario, se observan interrupciones en todo el trayecto de los inter-médanos en forma variada según las imágenes.
- Se aprecia que existe aporte de agua subterránea importante y marcado, lo cual si bien se manifiesta desde siempre en las lagunas permanentes, éstas y sus ambientes asociados, tal como inter-médanos vecinos, muestran cambio en su superficie sin una vinculación directa con la precipitación.
- La presencia de grandes coberturas de agua en el área de estudio, se vincula con las lluvia de dicha área, regiones vecinas, pero también al aumento de agua en sitios lejanos de recarga, que se hacen presentes como descarga de agua subterránea en el área de estudio, y que al parecer, adquieren mayor importancia en algunos sectores, que la precipitación acaecidas en el lugar, tal es el caso de sectores de Trenque Lauquen.

4.3. Suelo y vegetación asociada a zonas hidrogeológicas

En este punto, tal como se indicó en punto 3.4.3.1 y 3.4.3.2 (referidos a estudios de suelo y vegetación, respectivamente) se tuvo como objetivo la caracterización del tipo de suelo, su degradación, y la vegetación implantada o natural asociada a cada sitio de muestreo de agua superficial o subterránea (punto 3.4.2.1, Tabla 3.2).

En la Tabla 4.36 (9 de Julio, Carlos Casares, Pehuajó), Tabla 4.39 (Trenque Lauquen y Rivadavia, Guamini, Carhué, Junín) se presentan las variables físico-química analizadas en sitios de muestreo de suelo: salinidad (CE, conductividad eléctrica, dS/m), alcalinidad (pH), Relación de Adsorción de Sodio (RAS), nivel de materia orgánica (%), vegetación presente, entre otras.

Las variables analizadas permiten junto con las observaciones de campo (secuencia y profundidad horizontes, textura, estructura, color, hidromorfismo, compactación) caracterizar el suelo (subgrupos SG) y establecer su degradación y del ambiente en general por efecto de inundación debido al exceso de agua de lluvia o por elevación de la superficie freática. Tal como se indicó en materiales y métodos, los suelos fueron clasificados por Soil Taxonomy (1999), siguiendo los criterios de identificación en campo de Etchevehere (1976) e INTA (2000), se cotejaron con la cartografía de suelos realizada para la región por INTA a escala 1:50,000.

Previamente, en punto 4.2.1 se presentan resultados de suelos en sitios afectados y no afectados por inundación en Trenque Lauquen (Tabla 4.32) y su vinculación con lo observado en imágenes satelitales (Figura 4.32 y 4.33). En este punto, los valores allí presentados, y los de la Tabla 4.36 y 4.43, sobre los sitios de muestreo de agua, se analizan en forma conjunta a fin de caracterizar suelo, degradación y vegetación asociada.

Los **suelos** identificados en **9 de Julio, Carlos Casares, y Pehuajó** (Tabla 4.36) en sitios donde se extrae agua subterránea (Tabla 3.2), se corresponden dentro de la topografía local en la mayoría de los casos con lomas, en un ambiente general de planicies amplias con microlomas y bajos alternados. En algunos de estos bajos, es donde se presentan lagunas tal como la Laguna Temporaria (sitio 13) y la Laguna Permanente (sitio 20, indicada con L, en Figura 4.68).

En la Figura 4.68 se presenta a modo de ejemplo, un detalle de las unidades cartográficas de Pehuajó de cartas 1:50,000 de INTA (1992), digitalizadas por la Agencia de Extensión INTA Pehuajó, con las cuales se cotejó la información recopilada en campo. Este sector, incluye al Establecimiento El Tostado, sitios 13 a 20 (Tabla 3.2 y 4.36). En la Tabla 4.37 se describen algunas unidades cartográficas (UC), capacidad de uso (CU), subgrupos (SG), y serie de suelo

que integran dichas UC, indicándose para cada serie su capacidad de uso (CU) y posición topográfica, en ambientes de Pehuajó (Figura 4.68) y Trenque Lauquen (Figura 4.80).

Tabla 4.36 Variables físico-químicas en sitios de muestreo en 9 de Julio, Carlos Casares y Pehuajó: salinidad (CE, conductividad eléctrica, dS/m), alcalinidad (pH), Relación de adsorción de sodio (RAS), nivel de materia orgánica (%), vegetación presente (V), profundidad de superficie freática (PSF, m).

Sitio	Ubicación	Posición	Prof M	CE	pH pasta	MO	RAS	PSF	V	S C-H	SG
Carlos Casares											
1	Parque Industrial	loma	0-0.14	0.64	6.75	2.3	6.02	1.87	trigo	C-LH	Hapludol éntico
			0.14-0.3	0.5	6.74	1.4	5.42				
2	La Elvira	loma	0-0.14	0.62	5.98	5.2	6.02	2.5	Trigo	NC-NH	Hapludol éntico
			0.14-0.32	1.41	6.45	3.2	5.42				
Pehuajó											
13	Laguna temporaria	bajo	0-0.2	13	8.13	1.3		0.3	Estepa halófito	AH	Natralbol
			0.2-0.4		7.95						
14	Silos	loma	0-0.15		5.53	4.7		3.28	Monte Ulmus Salix	NC-NH	Hapludol éntico
			0.3-0.45		6.31						
			0.6-0.8		6.53						
15	Fret. T6	loma	0-0.15	0.63	5.62	1.8	0.58	2.3	Soya	NC-NH	Hapludol éntico
16	Fret T8	loma	0-0.11	0.77	5.67	2.3	6.7	2.47	Pastura	NC-NH	Hapludol éntico
17	Fret T2	loma	0-0.11	0.87	5.53	1.6	0.70	1.5	Pastura	LC-LH	Hapludol éntico
18	Fret T7	loma	0-0.22	0.38	6	2.1	0.81	3.5	Pastura	NC-NH	Hapludol éntico
19	Fret T5	loma	0-0.35	0.52	6.15	2.9	0.55	>3	monte acacia	NC-NH	Hapludol éntico
20	laguna permanente	bajo	0-0.2	12.04	8.28	1.1			Estepa halófito	AH	Natralbol
21	Madero, Bocanera.	Loma	0-0.55	3.04	5.2	3.6	1.6	3.6	Monte Eucalyptus	NC-NH	Hapludol éntico
22	José Paso Sienna,	Loma	0-0.25	0.66	6.46	3.21	0.87	2.7	cynodon	NC-NH	Hapludol éntico
23	Magdala,	Loma	0-0.20	5.39	6.29	2.71	4.29	2.6	Monte Eucalyptus	NC-NH	Hapludol éntico
24	Las Achiras	Loma	0-0.15	0.61	5.76	2.63	5.22	2.0	Monte ¹	NC-NH	Hapludol éntico
25	Media Noche	Loma	0-0.25	4.28	6.37	4.36	0.08		Monte ¹	NC-LH a 0.4m	Hapludol típico
45	Juan José Paso, Laguna El Recado,	Bajo	0-0.20	1.26	5.98	2.42	6.85		Arbolado ²	AC - AH	Natracuol
			0-0.07	5.65	8.67	0.17					
			0.07- 0.2	25	8.21	0.52					
46	Pehuajó, Laguna La Salada	Bajo	0-0.2	0.83	6.75	2.87	6.56		Orilla s/veg	AC - AH	Natracuol
			0-0.20	5.39	7.77	0.75	0.85	Arbolado ³	Natracualf		
9 de Julio											
49	Pozo Nro 3	loma	0-0.20	0.53	6.12		0.88		Arbolado ⁴	NC-NH	Hapludol éntico

Suelo, característica destacable: C: compactado, H: hidromorfismo medio; NC: no compactado; NH: no hidromorfismo; LH: ligero hidromorfismo; AH: abundante hidromorfismo. Hidromorfismo: presencia de moteados y concreciones de Fe y Mn.

¹Monte de especies arbóreas, *Quercus sp.*, *Ulmus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.*, *Ligustrum sp.*, *Morus, sp.*, y *Paspalum dilatatum* como herbácea. ²Arbolado *Ulmus sp.*, *Salix sp.*, como herbácea *Cynodon dactylon*. ³Arbolado parquización, *Acacia melanoxylon*, *Fraxinus sp.*, *Abelia loribunda*, Palmeras, y césped de *Cynodon dactylon* y *Paspalum dilatatum*. ⁴Arbolado de *Populus sp.*, y monte de especies arbóreas diversas.

Se destaca que las UC aquí presentadas son representativas de toda la región noroeste. Sin embargo, dada la escala de trabajo de las cartas INTA, 1:50,000, la descripción de suelo realizada en la presente tesis no es necesariamente coincidente, no obstante, la escasa evolución del suelo en la parte de médanos y posiciones de loma, con material original arenoso en forma generalizada, que determinan una homogeneidad marcada del suelo en dichos ambientes.

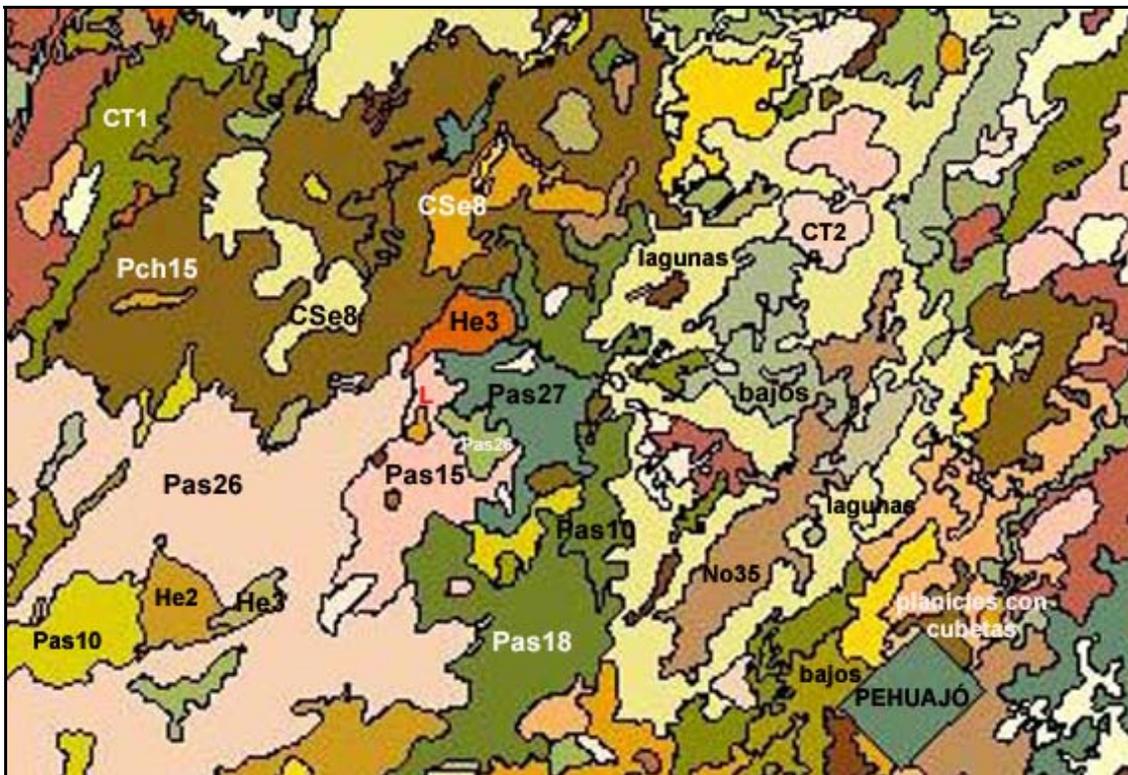


Figura 4.68 Ejemplos de unidades cartográficas correspondientes a Pehuajó

En Figura 4.69 se presenta una *laguna temporaria*, en el establecimiento El Tostado de Pehuajó con comunidad vegetal de estepa de halófitas, dominada por *Distichlis spicata* y *Sarcocornia perennis* (Sitio 13, Tabla 4.36) y en Figura 4.69b, en sector del borde de la laguna con salitre en superficie (costra superficial salina). El desarrollo de estas lagunas temporarias es frecuente en planicies con cubetas, tal como se presenta en la Figura 4.68 en la UCPas15, de un ambiente de planicies con microlomas y bajos. Si bien el sitio 13, presenta un suelo de tipo *Natralbol*, que no se indica en dicha UC por la escala de trabajo, se destaca que es un suelo con restricciones aún mayores que el peor suelo de la mencionada UCPas15, (*Hapludol ácuico*, serie Henderson, VIws), ya que el *Natralbol* es VIIws. En sitio 20, la *laguna es permanente*, y presenta características semejantes a la laguna temporaria del sitio 13 (Tabla 4.39), y en la Figura 4.68, se indica con L dentro de la UCPas15. Estos ambientes, se corresponden con zonas de descarga, que en función de lo obtenido en punto siguiente, son zonas de descargas de flujo subterráneo de tipo intermedio.

En Figura 4.70 se presenta un perfil de suelo *Hapludol éntico*, correspondiente a un ambiente de lomas muy suavemente ondulada, sitio 15, que en la Figura 4.68, se corresponde con la UCPas26 (Tabla 4.39). Tal como se indica en esta tabla, se desarrolla un cultivo de soya en buen estado en etapa de maduración. El suelo es de escasa evolución, lo cual se aprecia por la secuencia de horizontes, A-AC-C, la superficie freática se encontraba en el momento de muestreo, marzo de 2007, a 2.3m de profundidad, siendo su profundidad de 1.4m en marzo de

2005 y 2.44m en marzo de 2006 (Tabla 4.38, información proporcionada por EEINTA Pehuajó).

Tabla 4.37 Unidades cartográficas (UC), capacidad de uso (CU), subgrupos (SG), Serie de suelo y posición topográfica, en ambientes de Pehuajó (Figura 4.68) y Trenque Lauquen (Figura 4.80)

Denominación UC	Ambiente de UC	CU de UC	SG de suelo	Serie (CU)	% serie	Posición topográfica de la serie
Complejo Pch15	planicie con cubetas 30%	IV ws	<i>Hapludol tpto nátrico</i>	Pichincha (IVws)	50	media loma
			<i>Hapludol tpto árgico</i>	Cañada Seca (IVws)	30	loma
			<i>Natracuol típico</i>	Drabble (VIws)	20	bajos y cubetas
Pas15	Planicie con microlomas y bajos	IIIws	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas (IIIls)	60	loma
			<i>Hapludol ácuico</i>	Henderson (VIws)	20	bajos
			<i>Hapludol éntico</i>	Bolivar	20	loma
Consociación Pas3	cordones medanosos alargados	IV ws	<i>Hapludol éntico</i> ,	Piedritas	80	cresta loma
			<i>Hapludol típico</i>	Carlos tejedor (IIIls)	20	pie de loma y media loma
Asociación CSe8	planicies amplias con más de 30% cubetas	III ws	<i>Hapludol tpto árgico</i>	Cañada seca	50	planos altos
			<i>Hapludol típico</i>	Carlos Tejedor	30	planos altos
			<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	10	cresta de loma
			<i>Hapludol tpto nátrico</i>	Pichincha	10	pie de loma
Complejo Dr2	planicies alargadas encharcables	VI ws	<i>Natracuol típico</i>	Drabble	50	bajo
			<i>Hapludol tpto nátrico</i>	Pichincha	50	microloma
Complejo Pas16	planicies extendidas con charcas y cubetas	III ws	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	60	loma
			<i>Duracuol nátrico</i>	Salazar	30	plano bajo
				Cañada seca	10	media loma
Complejo He3	planicies arenosas suavemente onduladas	IV ws	<i>Hapludol ácuico</i>	Henderson	50	plano bajo
			<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	30	media loma
			<i>Hapludol éntico</i>	Norumbega (IIIls)	20	loma
Complejo He2	planicie baja con microlomas inundables	VIws	<i>Hapludol ácuico</i>	Henderson	40	plano bajo
			<i>Natracuol típico</i>	Drabble	30	bajo
			<i>Duracuol nátrico</i>	Salazar	30	bajo
Complejo Dr1	planicies encharcables con microlomas	VIws	<i>Natracuol típico</i>	Drabble	50	bajo
			<i>Hapludol tpto nátrico</i>	Pichincha	50	plano medio
			<i>Hapludol tpto árgico</i>	Cañada seca	20	plano medio
Pas26	Lomas muy suavemente ondulada	IIIls	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	70	loma
			<i>Hapludol típico</i>	Pehuajó	30	loma
Pas18	Planicies amplias con microlomas y bajos	IVws	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	80	loma
			<i>Duracuol nátrico</i>	Salazar	20	bajo
Pas10	Planicies con cubetas	IVws	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	80	loma
			<i>Hapludol tpto nátrico</i>	Carlos Salas	20	bajo
Pas27	Lomas medanosas	IIIls	<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	50	loma
			<i>Hapludol típico</i>	Pehuajó	40	loma
			<i>Hapludol tpto árgico</i>	Cañada seca	10	media loma
CT1	Lomas suavemente onduladas	IIIls	<i>Hapludol típico</i>	Carlos Tejedor	50	loma
			<i>Hapludol tpto árgico</i>	Cañada seca	30	media loma
			<i>Hapludol éntico</i>	Piedritas	20	loma
CT2	Planicies altas con suaves ondulaciones	IIIws	<i>Hapludol típico</i>	Carlos Tejedor	40	loma
			<i>Hapludol típico</i>	Pehuajó	30	loma
			<i>Hapludol tpto árgico</i>	Ortiz de Rosas	20	media loma

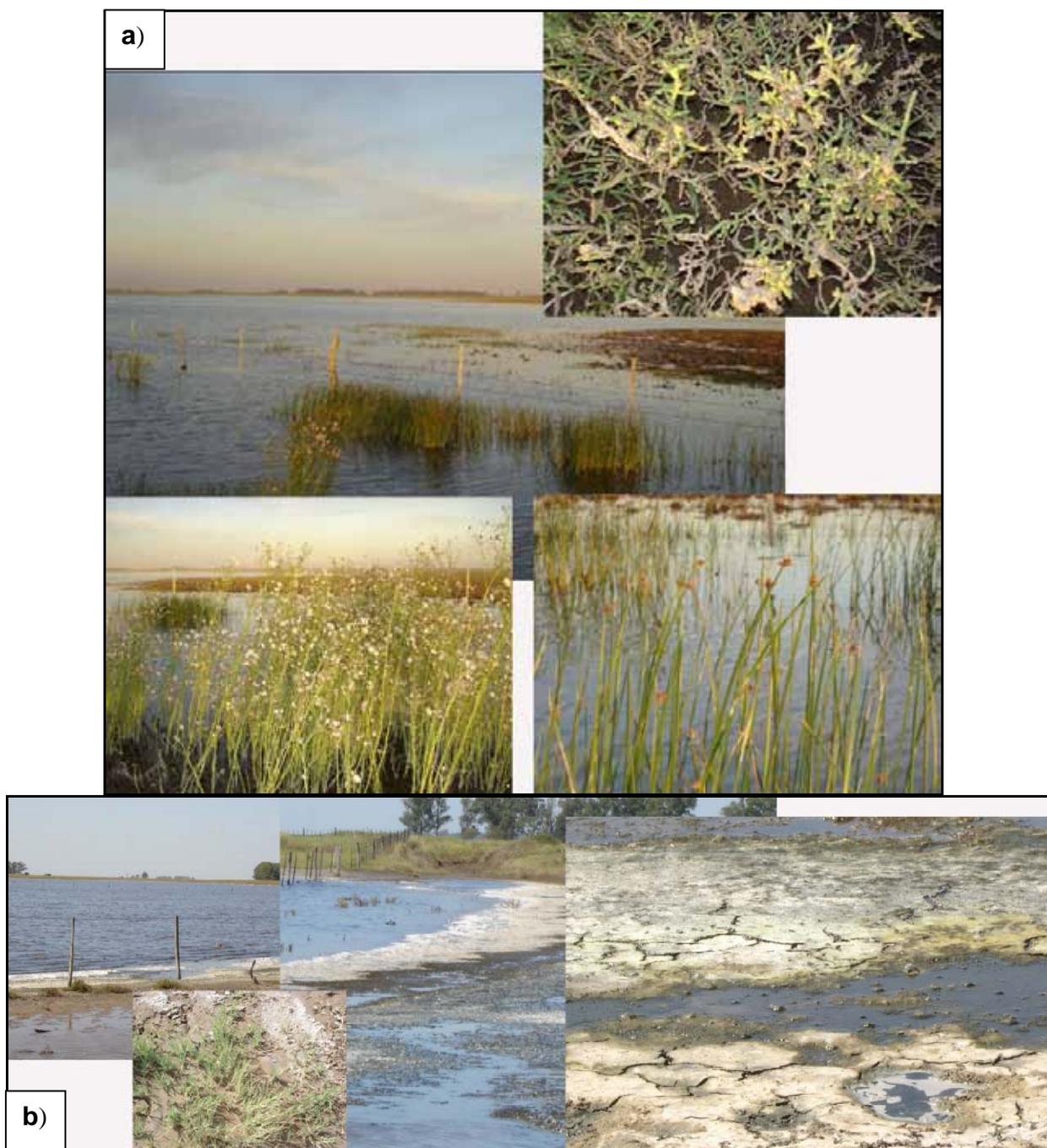


Figura 4.69 Laguna temporal, en establecimiento “El tostado”, Pehuajó, a) Estepa de halófitas dominada por *Distichlis spicata*, *Sarcocornia perennis*, *Bolboschoenus paludosus* (Sitio 13), y b) desarrollo de salitre sin vegetación con desarrollo aislado de *Distichlis spicata*.

A continuación se presentan algunos suelos descritos en **Pehuajó, Carlos Casares y 9 de Julio**.

Tal como se analizó en puntos 4.1 y 4.2 (resultados sobre clima e imágenes satelitales, respectivamente) no se aprecia una correspondencia clara entre precipitación acaecida, elevación de superficie freática, e inundación, respondiendo estas a eventos de lluvia ocurridos en otro sitio y diferente tiempo.

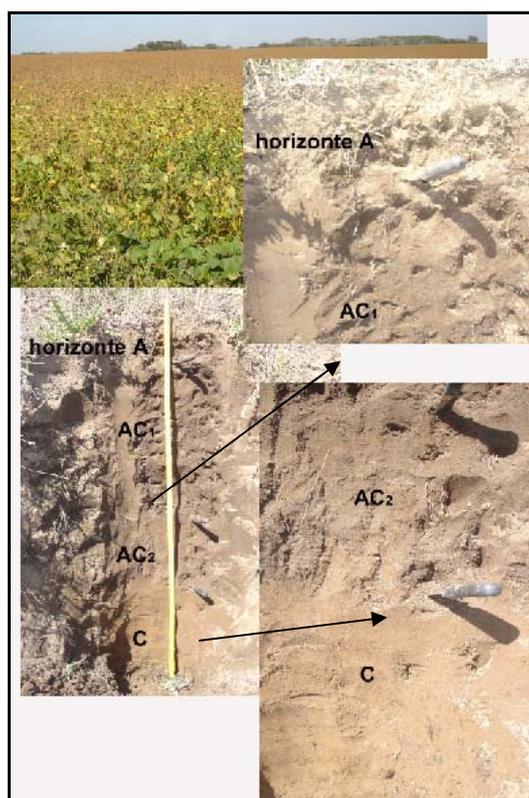


Figura 4.70 Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 15.

Se destaca que si bien la precipitación medida en “El Tostado”, revela una variabilidad importante en algunos meses según el sitio de medición, coincide en líneas generales con la precipitación indicada para Pehuajó (Tabla 4.17). En esta última, se aprecia que en años previos a mediciones de profundidad del nivel freático (Tabla 4.38), los años se clasificaron por anomalía en su precipitación como muy seco en 2003, normal en 2004, seco en 2005, y normal en 2006.

Tabla 4.38 Profundidad (m) de superficie freática en freatómetros (T2 a T8) del Establecimiento El Tostado, en Pehuajó (mediciones EEINTA Pehuajó)

Freatímetro	Cota m	12-03-05	27-12-05	16-03-06	13-11-06	17-01-07
Sitio 17, T2	86.00	1.18	2.05	2.39	1.98	2.36
Sitio 14, T3	86.93	1.53	1.80	2.36	2.00	2.41
Sitio 19, T5	85.94	2.01	2.55	2.81	2.24	2.53
Sitio 15, T6	86.77	1.42	1.79	2.44	1.74	2.20
Sitio 18, T7	86.28	2.89	3.47	3.59	3.03	3.35
Sitio 16, T8	87.49	2.43	2.86	3.17	2.50	2.83

Los sitios 14 a 19, del Establecimiento “El Tostado”, se ubican en posición local relativamente alta (loma plana), con superficie freática a una profundidad 1.5 a 3.5m. Estos sitios se corresponden con las UC identificadas en carta INTA (Figura 4.68) como Pas26 (sitio 15), Pch15 (sitio 16, 17, 18), y Pas27 (sitio19). Sin embargo, tal como se analiza en el punto siguiente el agua de todos estos sitios, no pertenecen a flujo local ni son de recarga, como sería de esperar por su geomorfología y suelo. Así, el agua del sitio 15, y del sitio 14, sugiere que son zonas de tránsito de flujo intermedio, mientras que los sitios 16 y 18, son también zonas de tránsito pero de flujo local.

Estos son ambientes de loma medanosa (Pas27 y Pas26) y planicie con cubetas en un 30% de la superficie (Pch15), por lo que en general estas UC se corresponden con zonas de recarga, al igual que los sitios muestreados. La discrepancia entre la UC Pch15 y lo identificado en campo para los sitios de muestreo se debe, como se indicó, a la diferencia en la escala de trabajo.

En la Figura 4.71 se presenta el ambiente y perfil de *Hapludol éntico* característico del sitio 16, en la Figura 4.72 del sitio 17, y en la Figura 4.73 del sitio 18. Sobre todos estos sitios, se pueden efectuar iguales apreciaciones que para el sitio 15 en relación con las variaciones de la superficie freática la cual se presenta en forma somera con 1.18 a 3.59m de profundidad (Tabla 4.38).

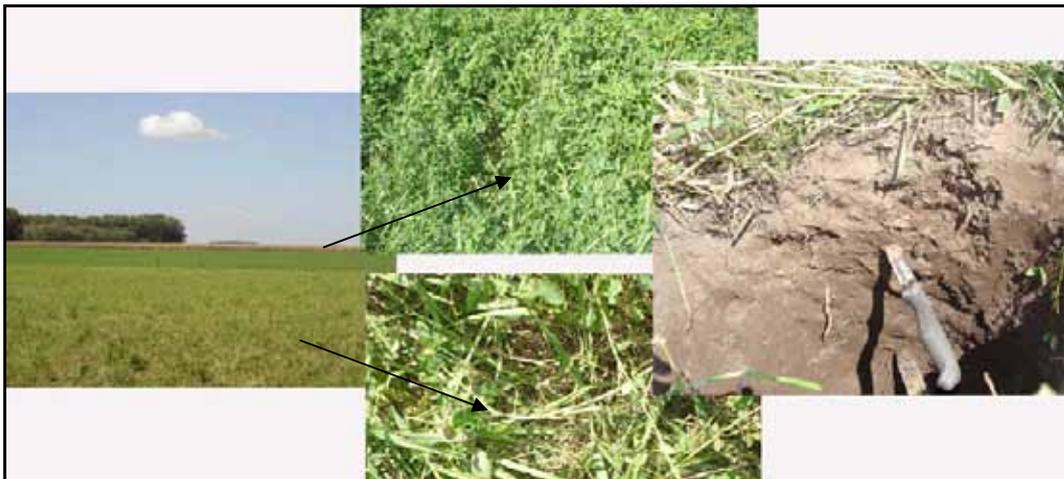


Figura 4.71 Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 16



Figura 4.72 Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 17.

Los sitios de muestreo 14 a 19, si bien se ubican en un ambiente general de loma plana extendida, con poca diferencia en su altura respecto al mar (Tabla 4.38), y con suelo *Hapludol éntico* (sin salinidad ni alcalinidad) en todos los casos, con base en la caracterización química de las aguas de muestra (punto 3.4.2.2, resultados en 4.4.1) se establece que presentan

diferencia en el tipo de flujo y zona; así, son zonas de tránsito de flujo intermedio los sitios 14 y 15, zonas de tránsito de flujo local los sitios 16, y 18; zona de descarga de flujo local el sitio 17, y el sitio 19, es identificado como zona de recarga de flujo local.



Figura 4.73 Ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 18

La Figura 4.74 presenta el sector del canal Jauretche (Figura 1.2) (coordenadas: 35° 43'28.3" y 62° 04'49.5" GKF4), que pasa a un lado del Establecimiento "El Tostado", figura donde se aprecian los ambientes que se presentan entorno al canal, sectores altos con vegetación de *Setaria sp*, sectores bajos inundados con laguna, y sectores con soya entre el canal y laguna. Se aprecia que los canales pueden constituirse en barreras a la circulación lateral de agua acumulada, en especial cuando de tiene condición de inundación, lo mismo sucede con la presencias de caminos.

Otros sitios analizados en Pehuajó, correspondientes con sectores altos de loma, ubicados en las localidades *Madero*, *Magdala*, y *José Paso* (sitios 21 a 25) presentan también suelo profundo, arenoso y con escasa evolución ya que presenta una secuencia de horizontes A-AC-C, aunque con diferente espesor, tal como lo indicado para los sitios 14 a 16 y 18, 19. En general, se observa en Tabla 4.39 que cuando el suelo no presenta salinidad, alcalinidad, ni hidromorfismo, el sitio en cuestión se le puede considerar como zona de recarga o de tránsito, esto con la excepción es el sitio 25, con suelo *Hapludol típico* y rasgos hidromórficos desde 0.45m de profundidad, que sugiere la presencia confirmada de una zona de descarga de flujo intermedio. Sin embargo, tal como se analiza en puntos siguientes, el agua analizada se corresponde con zonas de tránsito de flujo local en sitio 21, y de tránsito pero de flujo intermedio los sitios 22 y 23; y zona de descarga de flujo intermedio los sitios 24 y 25; lo cual se atribuye a la profundidad de extracción del agua (aproximadamente 10m en sitio 21, y cercana a 30m en sitios 22, 23, 24 y 25). Muy posiblemente en el agua inmediata a la superficie del terreno se encuentre una correspondencia con el ambiente observado, principalmente en relación con el suelo. Es claro, que las diferencias no pueden ser atribuidas a contrastes de altura con respecto al nivel del mar (Tabla 4.38, y Tabla 4.41).

Respecto a las otras lagunas analizadas, *El Recado* (Localidad *Juan José Paso*) (Figura 4.75), y *La Salada*, junto a la ciudad de Pehuajó, los suelos muestreados han sido modificados por acción antrópica ya que alrededor de las lagunas se generan parques con especies arbóreas

resistentes a la salinidad y alcalinidad. No obstante, los suelos naturales son *Natracuol* y *Natracualf*. En el borde de laguna se han depositado materiales ricos en arcilla, pobres en materia orgánica, salinidad y alcalinidad moderada. Estas lagunas, según la calidad del agua (punto 4.4.1), son zonas de descarga de flujo local e intermedio (El Recado), y de flujo intermedio (La Salada).



Figura 4.74 Canal Jauretche y ruta 226 en Pehuajó (aproximadamente 35° 43'28,3" y 62° 04'49,5" GKF4).

Respecto a los suelos de *9 de Julio* y *Carlos Casares*, en todos los casos los sitios de muestreo de agua (Tabla 3.2) corresponden con ambiente de loma y suelo *Hapludol éntico*; la vegetación es implantada (trigo en casos y arbolado en otros), no presentan problemas de salinidad ni alcalinidad y tienen un buen contenido de materia orgánica (Tabla 4.39).

En la Figura 4.76 se presenta un ejemplo de suelo *Hapludol éntico* con *Triticum aestivum*, trigo, con rendimiento de aproximadamente 4,000kg/ha, en un ambiente de loma alta en el partido de Carlos Casares (sitio 2). Tal como se analizará (punto 4.4.1) el agua muestreada en pozos, caracteriza zonas de descarga de flujo local (sitios 1 y 2); y de descarga de flujo intermedio (sitio 3). Similar apreciación puede realizarse respecto al tipo de suelo, y zona identificada a lo indicado precedentemente para Pehuajó.

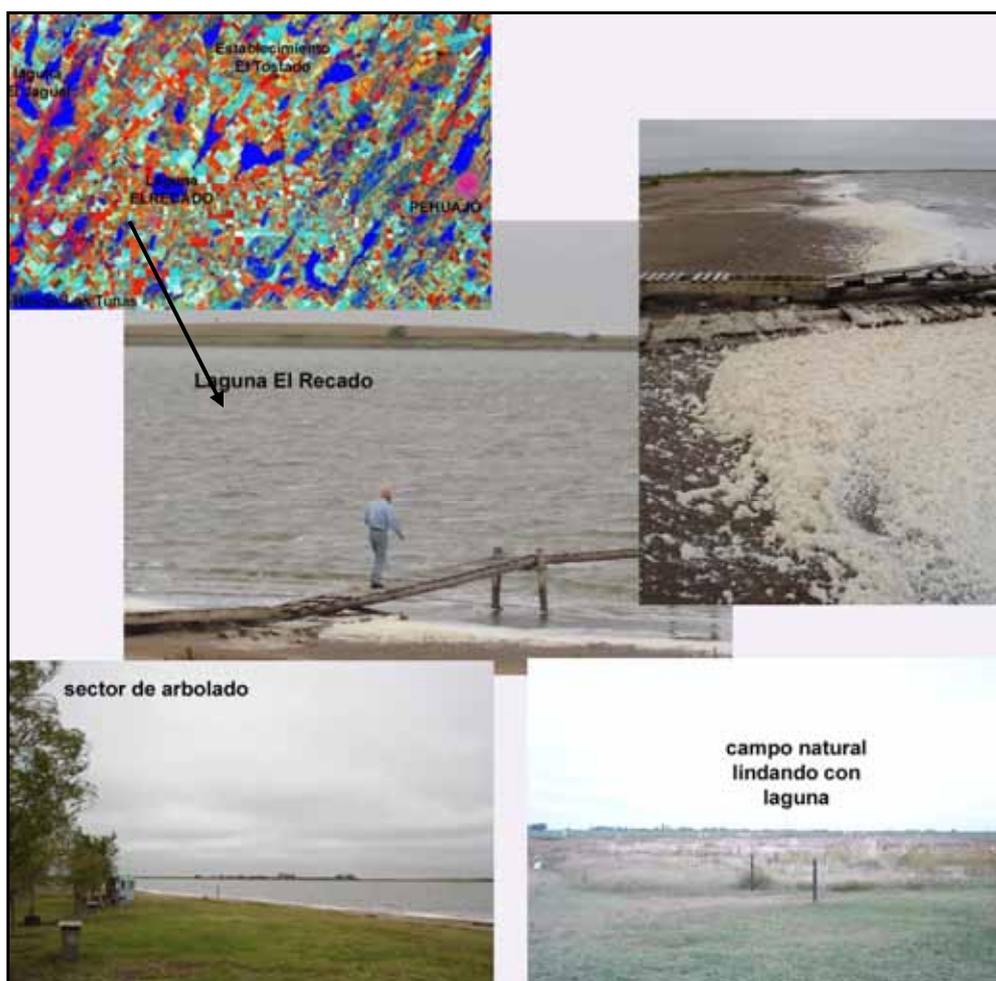


Figura 4.75 Laguna El Recado, Pehuajó

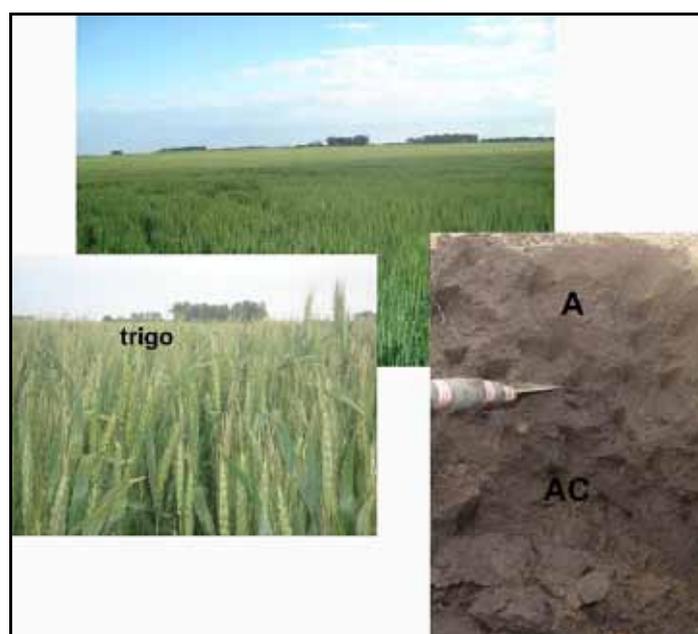


Figura 4.76 Hapludol éntico con *Triticum aestivum*, trigo, ambiente de lomas altas en el partido de Carlos Casares.

En la Figura 4.77, se presenta un *Hapludol éntico* en un ambiente de loma alta, perteneciente al partido 9 de Julio, en el sitio 49 (Tabla 3.2 y Tabla 4.39), donde se encuentran los pozos de abastecimiento de agua del partido de referencia. Estos pozos se encuentran emplazados a lo largo de la calle que se aprecia en la fotografía de la Figura 4.75 con árboles *Populus sp*, en un total de tres distanciados entre sí a aproximadamente 300m, la profundidad de los pozos es del orden de unos 30m. En este sitio, no obstante la profundidad de muestreo del agua, su calidad, se corresponde con un ambiente general de *zona de recarga de flujo local*.

Los **suelos** identificados en **Trenque Lauquen** (Tabla 4.39) en los sitios donde extrae agua subterránea (Tabla 3.2), corresponden al igual que para Pehuajó, en la mayoría de los casos con lomas, en un ambiente general de planicie amplia con microloma y bajos alternados, en los que se ubican lagunas permanentes o temporarias.

Tabla 4.39 Variables físico-químicas en sitios de muestreo de Trenque Lauquen: *salinidad (CE, conductividad eléctrica, dS/m), alcalinidad (RAS, Relación de adsorción de sodio), nivel de materia orgánica (%), vegetación presente (V), profundidad de superficie freática (PSF, metros), característica destacable del suelo (compactación, C; e hidromorfismo, H), y subgrupo de suelo (SG).*

Sitio	UBICACION	Posición	Prof.	CE	pH pasta	MO	RAS	PSF	V	Suelo C-H	SG
26	Berutti, Castellar	loma	0-0,23		6,5	3,5		2,6	Parque	NC-NH	<i>Hapludol éntico</i>
27	La Vidaña	loma	0-0,36	12.5	5,4	0.51		> 3	Rastrojo maíz	NC-NH	<i>Hapludol éntico</i>
28	Laguna Vidaña	bajo	0-0,17		6,4	2.47			Soya seca, anegada	AH	<i>Hapludol ácuico</i>
29 y 30	Mari Lauquen	loma	0-0,3		5,9	0.02		4.12	Cynodon	NC-NH	<i>Udipsament Hapludol éntico</i>
31	Mari Lauquen	loma	0-0,3	6.35	6.3	1.46	0,07	> 2,5	Soya mal estado	LH	<i>Hapludol éntico</i>
32	Mari Lauquen	loma	0-0,2	12.3	4,7	1.34	0,09	4	Pasto llorón ¹	NC-NH	<i>Udipsament</i>
			0-0,40	4.1	6,7	0.62					
33	Planas Hugo	media loma	0-0,23	43.5	9.2	1.83	2,3	2.03	Pastizal ²	NC-LH	<i>Hapludol éntico</i>
34	Tallos Verdes	media loma baja	0-0,3	0.64	6.33	2.35	0,97	2	Pastizal ³	C-AH	<i>Hapludol ácuico</i>
36	Berutti, Los Molinos, Vicente	loma baja	0-0,10		5,3	7.01		2.9	Soya buen estado	NC-LH	<i>Hapludol éntico</i>
			0-0,25	1.08	6.06	2.26	0,7				
38	Berutti, Laguna Murphy	loma	0-0,20		5,0	8.11			<i>Eucalyptus</i>	NH	<i>Hapludol éntico</i>
		bajo	0-0,20	4	7.74	3.65			<i>Distichlis sp</i>	AH	<i>Hapludol ácuico</i>
39	Las tunas grandes	bajo	0-0,20	54.3	6.2	1.92	4,5		<i>Distichlis sp</i>	LC-LH	<i>Hapludol ácuico</i>
40	Laguna Hinojo	bajo	0-0,20	17	9.05	1.02			Suelo desnudo	AH	<i>Hapludol ácuico</i>
		bajo	0-0,20	0.4	8.75	0.92			Cynodon, Sorghum alepensis		

Suelo, característica destacable: **C**: compactado, **H**: hidromorfismo medio; **NC**: no compactado; **NH**: no hidromorfismo; **LH**: ligero hidromorfismo; **AH**: abundante hidromorfismo. *Hidromorfismo*: presencia de moteados y concreciones de Fe y Mn. ¹ Pasto llorón, *Eragrostis cúrula*; ² Pastizal con alta cantidad de malezas *Cynodon sp*, *Paspalum dilatatum*, *Baccaris sp*, *Amarantus quitensis*, *Chenopodium album*; ³ Pastizal con alta cantidad de malezas, *Cynodon sp*, *Stipa sp*, cardos diversos en pastoreo de ganado .

En las lomas, prevalece el suelo *Hapludol éntico*, con algunas excepciones donde el ambiente de loma plana favorece el desarrollo de rasgos hidromórficos llegando a identificarse el suelo *Hapludol ácuico* tal como se presenta en la Figura 4.78 en el sitio 34 en la localidad de Berutti, la cual se caracteriza por presentar un ambiente general de cotas más bajas, mayor presencia de microdepresiones y de suelo salino (Figura 2.13). Se destaca además, que en algunos sitios, aún siendo el suelo identificado *Hapludol éntico*, y ambiente de loma (sitio 33), posee alta

salinidad y alcalinidad desde superficie. Tal como se presenta en punto 4.4.1, la calidad del agua se corresponde en ambos sitios (33 y 34) con *zona de descarga de flujo intermedio*.

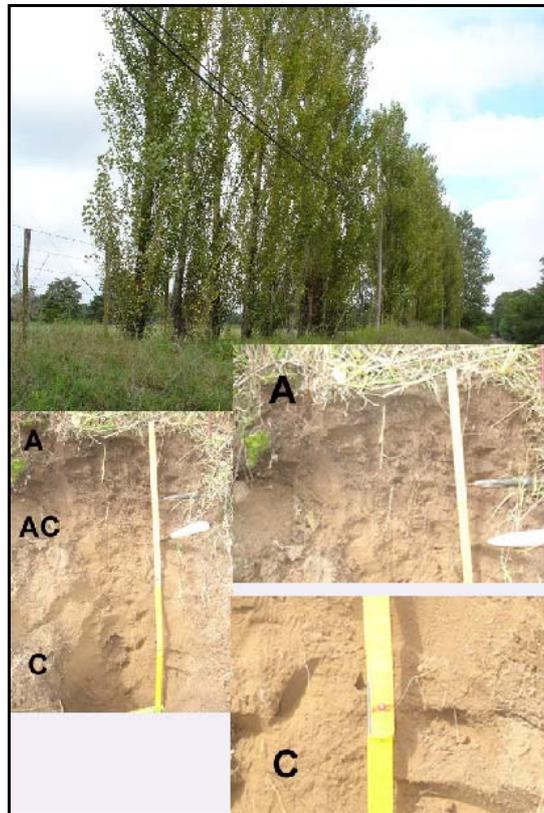


Figura 4.77 *Hapludol éntico* en un ambiente de lomas altas en el partido de 9 de Julio



Figura 4.78 Ambiente de suelo *Hapludol ácuico* en sitio 34 en la localidad de Berutti.

Por el contrario, en la localidad de Mari Lauquen, el ambiente general es de lomas altas, con médanos marcados llegando incluso a carecer de vegetación y sujetos a severa erosión eólica. Estos médanos se los denomina “vivos” ya que la vegetación no los ha fijado por completo. El suelo característico de este ambiente es el *Udipsament típico*, tal como se presenta en el sitio 32, y en cercanías de los sitios 29 y 30. En Figura 4.79 se presentan perfiles de suelo, así como el ambiente de *Udipsament típico* algunas de estos se presentaron previamente en Figura 2.12. Tal como se analiza en punto siguiente, el análisis del agua muestreada revela que se ubican en zonas de recarga o tránsito de flujo local, dependiendo de la profundidad del pozo de extracción.

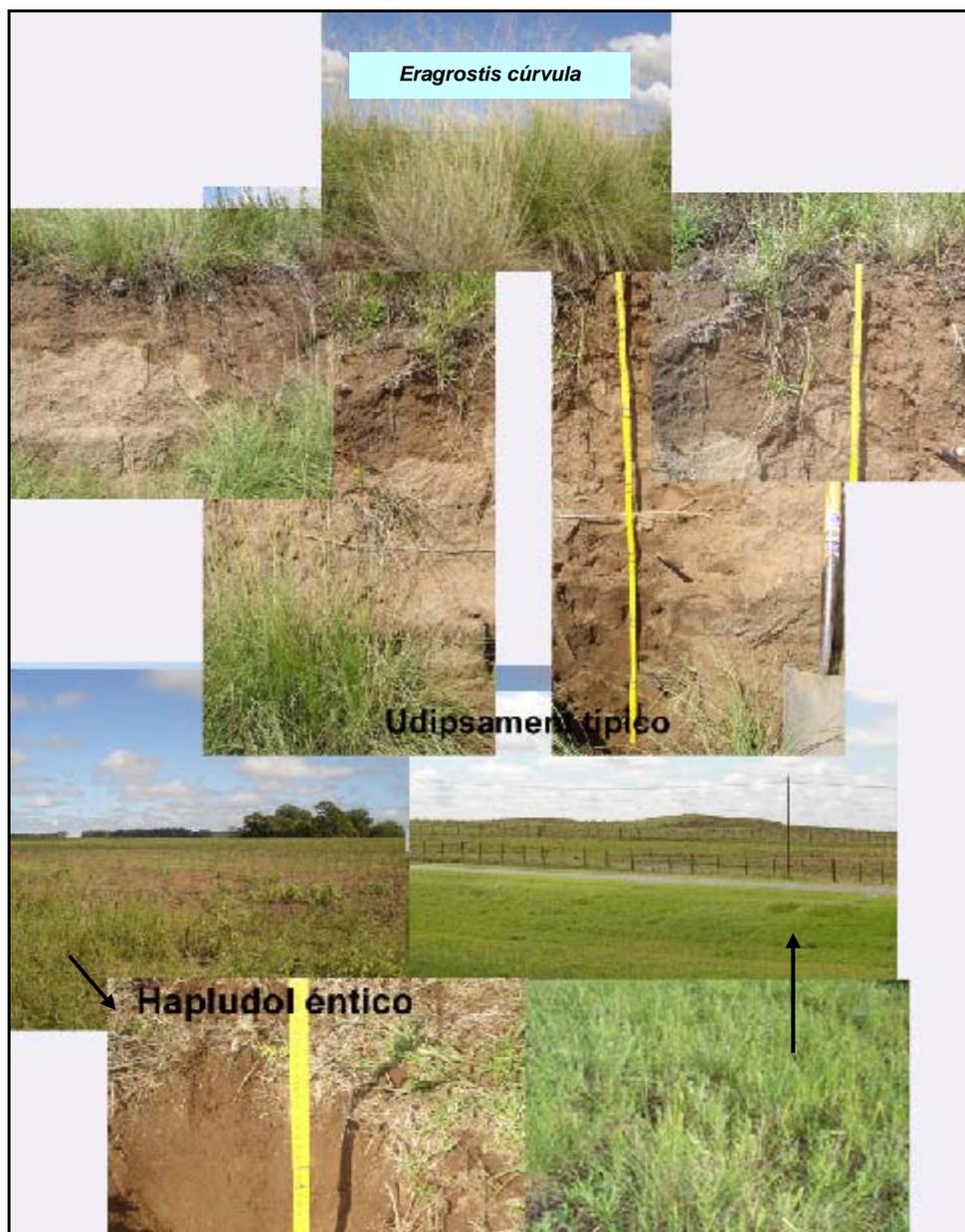


Figura 4.79 Ambiente de suelo *Udipsament típico* y *Hapludol éntico*

En la Figura 4.80 se presenta el detalle de las unidades cartográficas para un establecimiento agropecuario de la localidad de Berutti, Trenque Lauquen, que incluye a la laguna Murphy. Como se indicó al principio de este punto, los datos de suelos se presentaron previamente en el

punto 4.2.1, comparando sitios afectados y no afectados por las inundaciones (Tabla 4.32) y su vinculación con lo observado en imágenes satelitales (Figura 4.32 y 4.33). En Tabla 4.39 se presentó la composición de estas unidades.

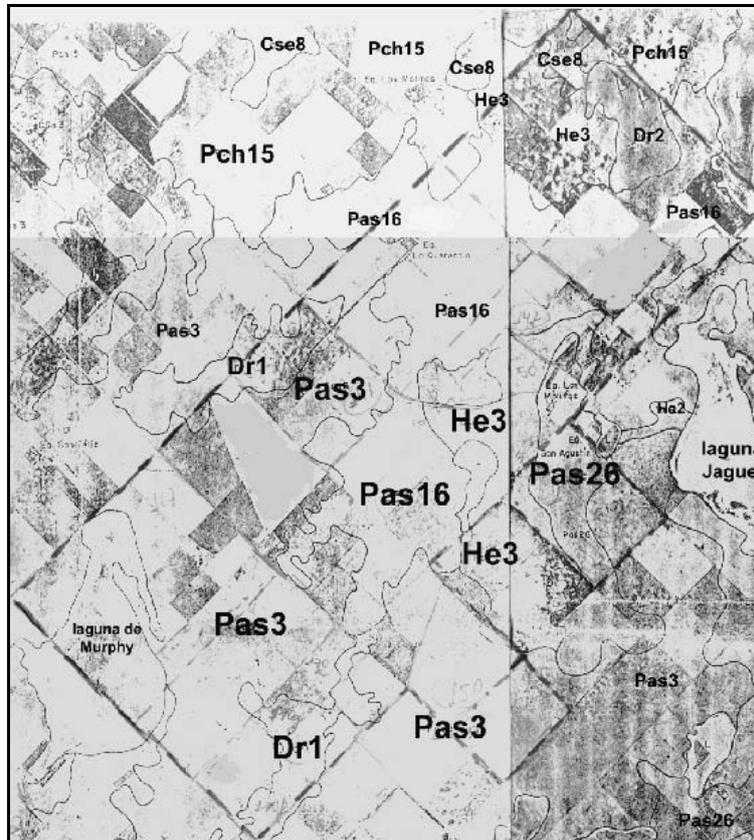


Figura 4.80 Unidades cartográficas para un Establecimiento agropecuario de la localidad de Berutti, Trenque Lauquen

Se describen a continuación algunos suelos observados en el Establecimiento de Berutti, Trenque Lauquen destacando su relación con los sistemas de flujo de agua subterránea.

En Figura 4.81 se presentan ambientes locales de loma, media loma y bajo, con suelo *Hapludol éntico*, *Natracuol típico* y *Natracualf típico* respectivamente, y posición que ocupan en el ambiente general. En los sitios correspondientes a *Hapludol típico*, tal como se indica en punto 4.4.1 las características del agua definen al sitio 36 como zona de tránsito de flujo local (pozo a 10m de profundidad); el sitio 37 indica una zona de recarga de flujo local (agua de freático).

En la Figura 4.82, se muestra un detalle de rasgos hidromórficos que se generan como consecuencia de la inundación o anegamiento frecuente, y se comparan con suelos iguales no sujetos a exceso hídrico periódico. En esta Figura, se presenta el suelo hidromórfico con colores gley de Fe reducido (como se encontraba al momento del muestreo), y luego de varias horas al aire hasta adquirir el color rojo de Fe oxidado. Este proceso se hace característico de una zona de descarga de flujo intermedio, ya que es el único identificado que por su longitud y profundidad de recorrido mantiene al Fe y Mn en solución (condiciones reductoras) y al descargar este flujo o al estar el agua en contacto con la atmósfera precipita esos elementos resultando en los rasgos hidromórficos observados.

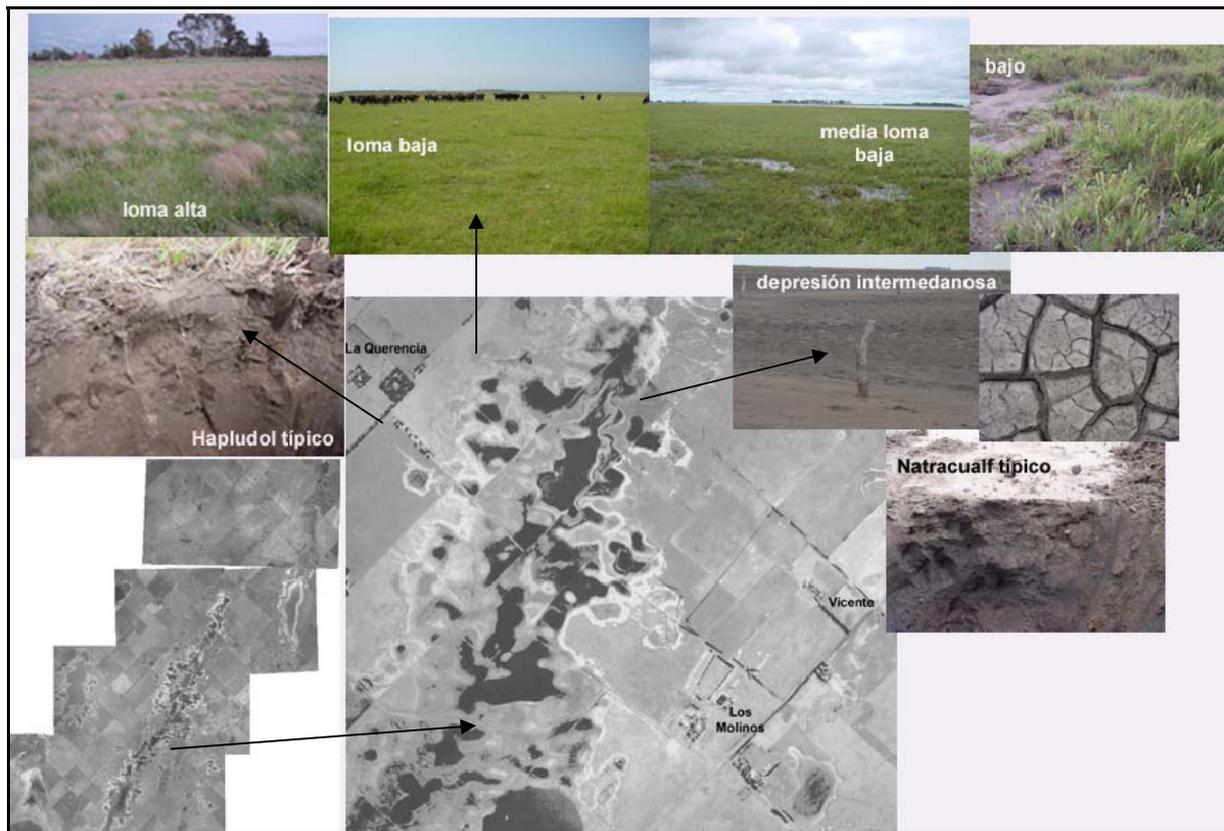


Figura 4.81 Ambiente de loma, media loma y bajo, con suelo *Hapludol* éntico, *Natracuol* típico, *Natracuolf* típico respectivamente, con vegetación asociada.

El inter-médano central con agua en la fotografía aérea (Figura 4.81), se corresponde con la unidad cartográfica Pas16. Esta UC es coincidente con planicies extendidas con charcas y cubetas con capacidad de uso IIIws, y suelos *Hapludol* éntico, *Duracuol* nátrico, *Hapludol thapto* árgico; y con la UC He3, correspondiente a planicie arenosa suavemente ondulada con suelo *Hapludol* éntico en la media loma y loma, y *Hapludol* ácuico en bajos. Al igual que lo indicado para Pehuajó, por la escala de trabajo en la presente tesis, se identifican además en estos ambientes de inter-médanos, suelos con mayores restricciones, *Natracuol* y *Natracuolf* (VIws), tal como se presentan en Figura 4.81. Los suelos presentes en estos ambientes bajos propensos a la inundación corresponden entre otros, con la serie Drabble (Tabla 4.39).

El suelo de loma, indicado en la Figura 4.81 en la Querencia, muestras número 10A y 11NA (Tabla 4.32) se corresponden con las UC Pas3, en un ambiente de cordones medanosos alargados integrados por *Hapludol* éntico y *Hapludol* típico (Tabla 4.39), y es coincidente con lo analizado en la presente tesis (Figura 4.81). Si bien el agua analizada en este establecimiento (sitio 35) se corresponde con una descarga de flujo intermedio, esto es, por la profundidad de extracción (mayor a 10 m) y muy posiblemente el agua de la superficie freática efectivamente se corresponda con *zona de recarga de flujo local* (punto 4.4.1),,,,,



Figura 4.82 Suelo no afectados por anegamientos e inundaciones, sin rasgos hidromórficos (izquierda) y suelos sujetos a excesos hídricos con concreciones de Fe-Mn (estado reducido, medio, y oxidado, derecha).

La Figura 4.83 muestra ejemplos de ambiente inundado. La Figura 4.84 es una secuencia de ambiente degradado como consecuencia alternante en tiempo de lapsos de inundación y secas en períodos de hasta dos años (con agua; suelo seco desnudo y *Distichlis sp.* y suelo seco encostrado y desnudo). La Figura 4.84 presenta detalles del suelo, con desarrollo de “salitre negro” producto de dispersión de materia orgánica por sodio en cantidad elevada (humato sódico), y detalle de vegetación de comunidad halófila (*Distichlis sp.* y *Salicornia sp.*). Todos estos ambientes son zonas de descarga, y si bien, no se dispuso de freáticos o pozos a fin de analizar el agua y tipo de descarga, es posible por la magnitud y las características descritas de la degradación que se correspondan a zonas de descarga de flujo de tipo intermedio.



Figura 4.83 Ambientes inundados

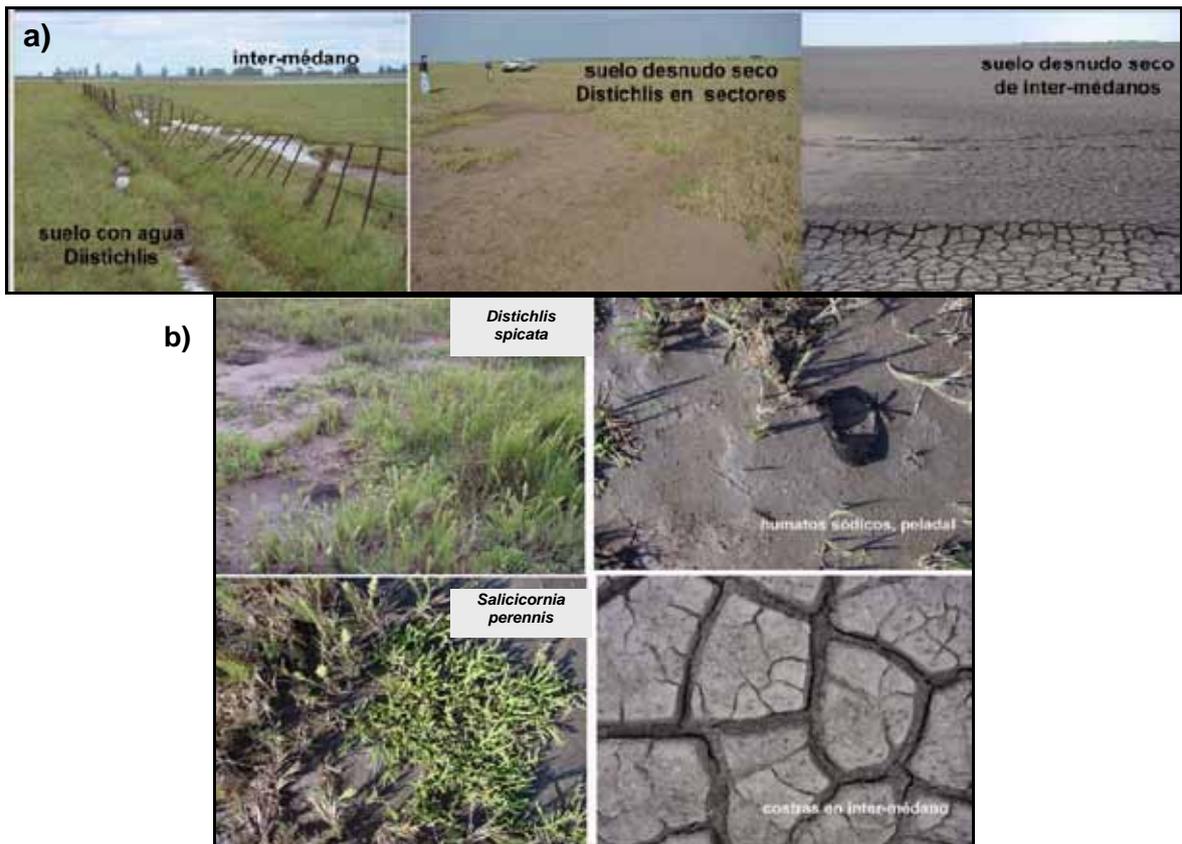


Figura 4.84 a) Secuencia de ambientes degradados como consecuencia de tiempos variados de agua hasta extremos de 2 años - b) Detalles del suelo con desarrollo de “salitre negro” (humatos sódicos), encostramiento, y comunidad halófila (*Distichlis sp* y *Salicornia sp*)

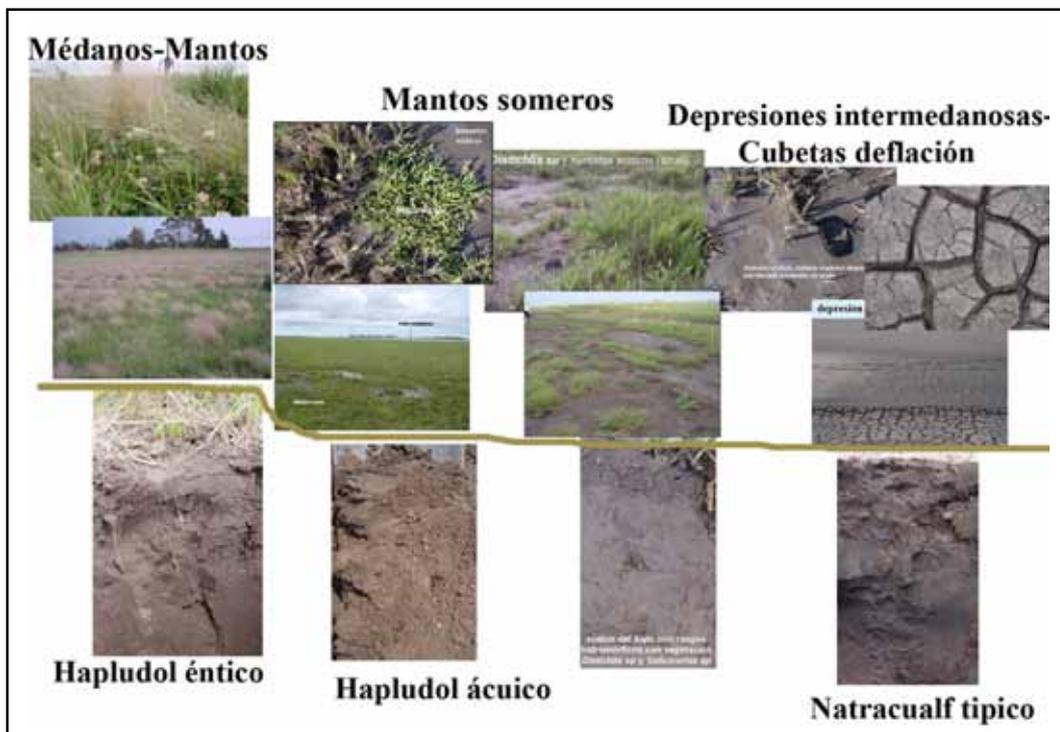


Figura 4.85 Toposecuencia de suelos, vegetación, y ambiente asociado -

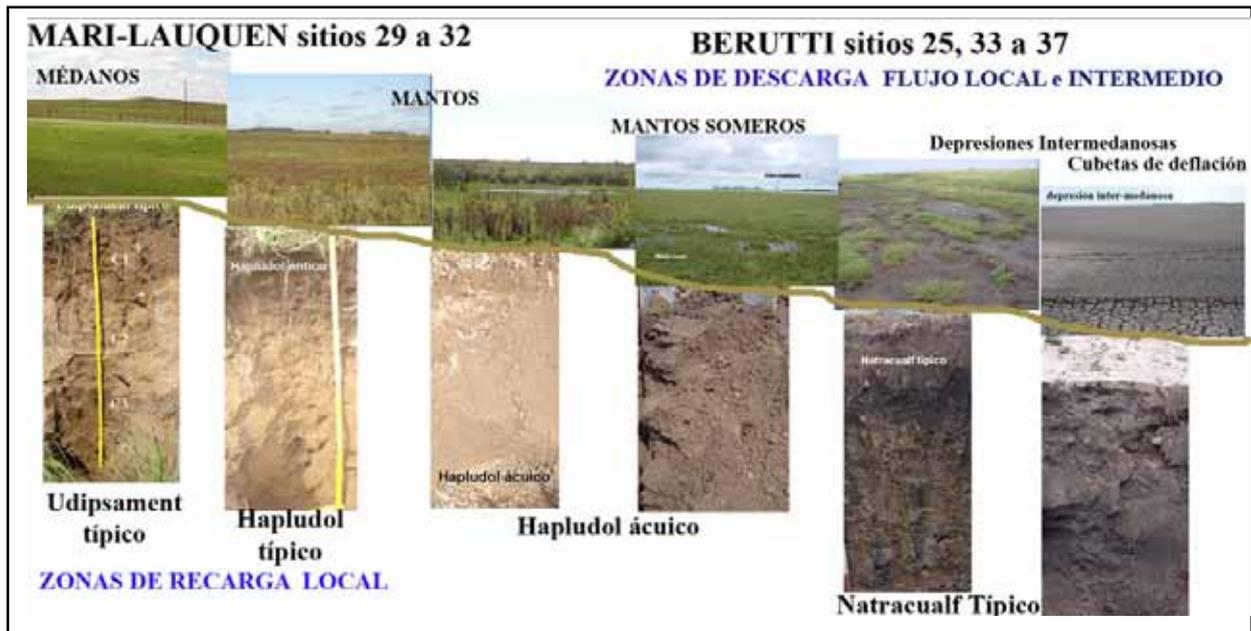


Figura 4.86 Toposecuencia de suelos, vegetación, y ambiente entre Mari Lauquen y Berutti.

Las lagunas analizadas en Trenque Lauquen fueron *La Vidaña*, Laguna *Murphy*, *Las Tunas Grandes*, y *El Hinojo*, las que se caracterizan por ser de tipo permanente (Figura 2.15). En general los suelos que rodean a las lagunas son *Hapludol ácuico*, sin embargo, se destaca que es sumamente variable según el sitio el grado de hidromorfismo, así como el nivel de salinidad y alcalinidad. Así, si bien como es de prever que a mayor distancia del borde de las lagunas disminuye la salinidad y alcalinidad, esto se produce de manera variada, principalmente por el desarrollo de la vegetación con la cual aumenta la materia orgánica. La abundancia y tipo de vegetación también es variable, prevaleciendo la pradera halófila con *Distichlis spicata* y *Sarcocornia perennis*.

La salinidad y alcalinidad de los suelos que rodean el Complejo Lagunar El Hinojo Las Tunas es mayor que en el resto de las lagunas, esto se corresponde con la salinidad del agua. Así, la salinidad del agua en Las Tunas Grandes es 22.9dS/m, y el suelo presenta una salinidad 54dS/m y en El Hinojo el agua tiene una salinidad de 18.10dS/m y el suelo de 17dS/m (Tabla 4.39).

En la *Laguna Murphy* la salinidad del agua es de 19.8dS/m y en el suelo de 4dS/m, y a pocos metros, en sectores más altos, con plantación de *Eucalyptus sp.* el suelo no presenta salinidad y poseen muy alto contenido de materia orgánica. Consecuentemente, el suelo en este último caso, tiene una salinidad inferior al esperado. En la Figura 4.87 se presenta la laguna Murphy, en la Figura 4.88 la laguna Las Tunas Grandes, y en la Figura 4.89 la laguna El Hinojo. Por su calidad química las lagunas Murphy (sitio 38) y Las Tunas (sitio 39) tal como se presenta en punto 4.4.1 se corresponden con una mezcla de agua proveniente de zonas de *descarga de flujos intermedio y local*, mientras que El Hinojo, se identifica como zona de *descarga únicamente de flujo intermedio* (sitio 40) al igual que la laguna la Vidaña (sitio 28).

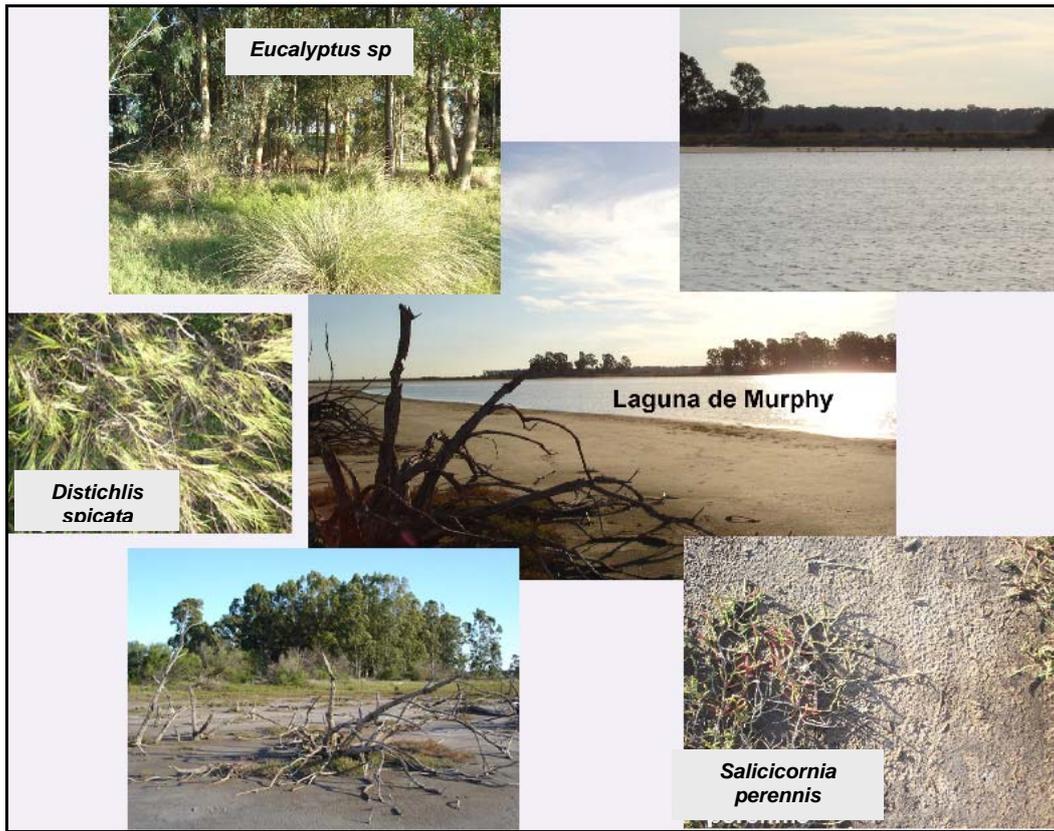


Figura 4.87 Laguna Murphy.



Figura 4.88 Laguna Las Tunas Grandes

Como una referencia, los suelos observados en sitios vinculados y próximos al área de estudio se presentan en la Tabla 4.40 las muestras de suelo vecinos a lagunas de los **partidos de Rivadavia** (laguna *Cuero de Zorro*), **Guaminí** (laguna Cochicó), Carhué (Lago *Epecuén*), y **Junín** (laguna *Gómez* y laguna *Mar Chiquita*).

Se destaca que la *laguna Cuero de Zorro* (sitio 41) ubicada en el límite de los partidos de Trenque Lauquen y Rivadavia, en su inicio fue un bajo natural donde se formaba una laguna temporaria, posteriormente se trajo por medio de un canal agua proveniente del partido de América (al norte del partido de Rivadavia, en la provincia de Buenos Aires) lo que produjo que se formara una laguna permanente, que incluso actualmente persiste, no obstante haberse suspendido el aporte de agua del canal de referencia desde 1995. Esta laguna se la muestreó igualmente. Dado el tiempo transcurrido y por estar sin aporte superficial y por mantener su gran dimensión, y también por presentar un ambiente semejante a los mencionados para El Hinojo y Las Tunas Grandes, tal como se aprecia en la Figura 4.90, varía marcadamente el suelo, así como el grado y tipo de cobertura vegetal. Hay sectores con árboles, existe un cultivo de soya importante que se da en muy buen estado no obstante la alcalinidad alta del suelo (Tabla 4.40); se caracteriza por suelo desnudo, con vegetación variada, incluso con sectores localizados cubiertos con *Distichlis sp*, vegetación característica de suelos con alta salinidad. Esta laguna se define como una zona de *descarga de flujo intermedio* de agua subterránea (punto 4.4.1).



Figura 4.89 Laguna El Hinojo.

La *laguna de Cochicó*, sitio 42, también presenta suelo con características muy variadas, tal como se aprecia en los valores de salinidad de la Tabla 4.40. Se destaca el material arcilloso de la laguna, que es diferente al resto de las lagunas hasta aquí analizadas (Figura 4.91) y que también se observó en la Laguna del Monte (sitio 44, Tabla 3.2), la cual pertenece al partido de

Guaminí, e integrantes junto con el lago Epecuén, Carhué, de las **Encadenadas del Oeste bonaerense** (Figura 2.15). Las características físicas y químicas del agua de las lagunas permiten proponer que pertenecen a zonas de descarga de flujo intermedio con cierto aporte de agua de flujo local, según se define en punto 4.4.1.

Tabla 4.40 Variables físico-químicas en sitio de muestreo en Rivadavia, Guaminí, Carhué, 9 de Julio, Junín: salinidad (CE, conductividad eléctrica, dS/m), pH en pasta, alcalinidad (RAS, Relación de adsorción de sodio), nivel de materia orgánica (%), vegetación presente (V), característica destacable del suelo (S, compactación, C; e hidromorfismo, H), y Subgrupo de suelo (SG). En todos la profundidad de muestreo fue a 0-0,20m.

Sitio	Ubicación	Posición	CE	pH pasta	MO	RAS	Vegetación	Suelo C-H	SG
41	Rivadavia, Laguna Cuero de Zorro,	loma		7.29	1.55		<i>Salix sp</i>		<i>Hapludol ácuico</i>
		orilla		7.91	0.48		<i>Varias</i> ¹		
		media loma	2.2	8.01	1.56	14.9	<i>Soya buen estado</i>	NC-NH	<i>Hapludol éntico</i>
42	Guaminí, Laguna Cochicó	orilla	89.1	7.88	0.57		Sin vegetación	Roca arcillosa	
		loma	1.9	6.93	5.73	11.3	<i>Eucalyptus</i>		
		loma	1.5	4.67	5.87	9.5	Árboles varios ²		
43	Carhué, Lago Epecuén	orilla		8.65					
50	Junín, Laguna Gómez	orilla	3.99	8.28	4.82		Sin vegetación		<i>Hapludol ácuico y H. éntico</i>

Suelo, característica destacable: **C**: compactado, **H**: hidromorfismo medio; **NC**: no compactado; **NH**: no hidromorfismo; **LH**: ligero hidromorfismo; **AH**: abundante hidromorfismo. *Hidromorfismo*: presencia de moteados y concreciones de Fe y Mn (profundidad de muestreo fue de 0-0.20m).¹ *Distichlis spicata*, *Chenopodium album*, *Amaranthus quitensis*.

² *Albizia Julibrissin* *Acacia de Constantinopla*, *Sophora japonica*, *Populus alba*.



Figura 4.90 Laguna Cuero de Zorro, Rivadavia



Figura 4.91 Laguna de Cochicó, Guaminí.

El *Lago Epecuén*, en Carhué, presenta material edáfico arenoso con grado variado de compactación según la distancia al agua, y en general se encuentra húmedo. Existía una plantación de *Populus sp.* Que llegaron a un estado de madurez los cuales fueron plantados para protección del balneario, árboles que actualmente se secaron (Figura 4.92). Antiguamente este balneario se utilizaba para la rehabilitación de diversas afecciones humanas por su elevada salinidad, semejante a la del Mar Muerto; sin embargo, debido al aporte de agua de otros sitios por canalizaciones efectuadas para mantener su nivel en época seca, no sólo alteró su composición química sino que condujo a inundación y abandono de la Villa turística Epecuén, actualmente bajo el agua (Figura 4.93).

La acción del hombre alterando el curso del agua superficial es marcada, y sin duda ha tenido incidencia en la evolución del agua de muchos sitios, lo ocurrido en el lago Epecuén, es un claro ejemplo de la impericia y realizar acciones sin conocer como funciona el sistema de agua subterránea. El pH del agua del lago Epecuén es de 9.53 y la CE de 75.6dS/m, el agua se encuentra limpia, pero con gran desarrollo de algas (Figura 4.92).

Tal como se indicó, el Río Salado se inicia en las lagunas de Gómez y Mar Chiquita (Figura 4.94), en este sitio aún no recibe agua proveniente del noroeste bonaerense (área de estudio de la presente tesis) a través de los canales Jauretche, Mercante e Italia (Figura 1.2) ya que desembocan en la localidad de Bragado, luego de estas lagunas. No obstante, es importante destacar que tanto la laguna de Gómez, como la de Mar Chiquita se encuentran fuertemente intervenidas por el hombre, mediante canalizaciones, tal como se aprecia en la Figura 4.92. En ésta, se aprecia hacia un lado del puente Morote, la laguna de Mar Chiquita con obras de rectificación de su lecho, y hacia el sur, la laguna de Gómez, con diferentes ambientes en función del grado de intervención antrópica. La vegetación alrededor de la laguna Gómez, es una cobertura densa donde prevalece *Cynodon dactylon*, y alternan sectores anegados con *Juncus* y *cyperus*, y sectores con monte de árboles de los géneros, *Populus*, *Salix*, *Quercus*,

Sófora, *Fraxinus*, y *Platanus*. Tal como se presenta en punto 4.4.1, estas lagunas se corresponden con zonas de descarga de flujo intermedio (laguna Gómez) e intermedio y local (laguna Mar Chiquita).



Figura 4.92 Lago Epecuén

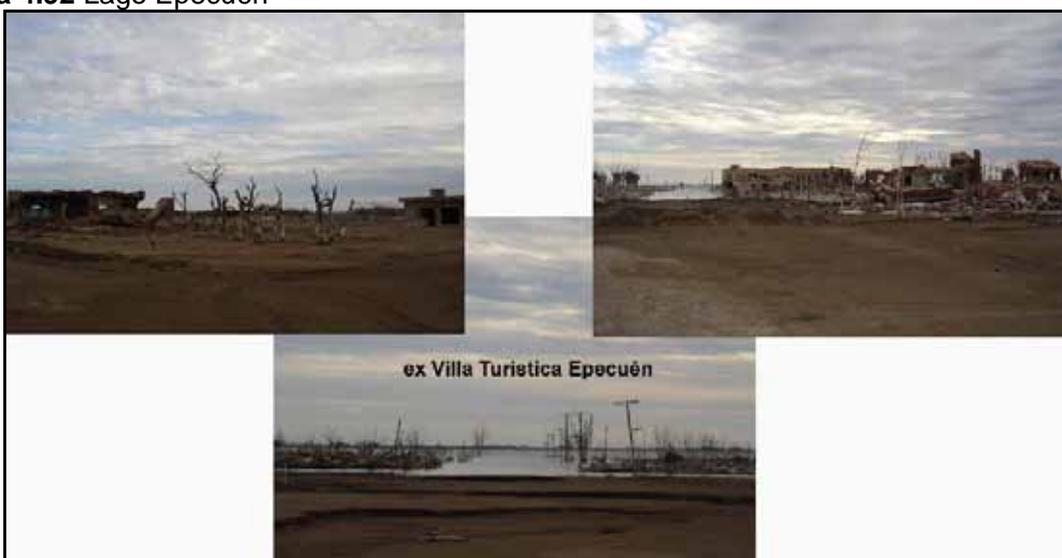


Figura 4.93 Ex Villa Turística Epecuén



Figura 4.94 Lagunas de Gómez y Mar Chiquita, Junín

RESUMEN SOBRE SUELO-VEGETACIÓN

En general, en los sitios donde se extrajo agua de pozo y freaómetro el ambiente se caracteriza por una planicie suave a muy suavemente ondulada, con lomas planas a elevadas, con pendiente general entre 0.5 y 1% en un relieve definido como Normal según normas de Etchevehere (1976). La vegetación es implantada en casi todos los sitios.

Los suelos que dominan en estos ambientes, son **Hapludol éntico** con grado variable de desarrollo de sus horizontes A, AC y C, libres de sales y alcali, moderado a elevado contenido de materia orgánica según el manejo de la vegetación, textura franca a franco-arenoso en superficie, y arenoso en profundidad, la estructura tiende a suelta y en algunos casos bloques débiles. Estas características le determinan una deficiente retención hídrica, una buena permeabilidad, escorrentía medio, y algo excesivamente drenado. La superficie freática se encuentra en general entre 2 y 4m de profundidad.

La aptitud de estos suelos es clase y subclase IIIs, presentando limitaciones de uso asociadas principalmente a la escasa retención hídrica y susceptibilidad a la erosión.

De los sitios analizados se destaca en Mari Lauquen la presencia de médano o lomas pronunciadas donde además del **Hapludol éntico** se reconoce un suelo **Udipsament típico**, con menor desarrollo, textura más arenosa, siendo aún menor la retención hídrica y excesivamente drenado.

En situación opuesta, se encuentran los suelos de la localidad de Berutti, en Trenque Lauquen, que se desarrollan en un ambiente general más bajo y en planicie más plana donde depresiones y micro-depresiones con acumulación hídrica se hacen más evidentes y frecuentes. Sin embargo, en los sitios donde se analizó el agua también se correspondieron con el suelo **Hapludol éntico** o **Hapludol típico**, presentando en algunos casos rasgos hidromórficos en alguna parte del perfil.

En estos ambientes de loma medanosa y planicie con cubetas o depresiones se presentan lagunas temporarias y permanentes, con características variables en su calidad de agua, y en el nivel de salinidad-alcalinidad del suelo que las rodean. No obstante en general, pertenecen al subgrupo *Hapludol ácuico*, a relativa corta distancia de las mismas cambian sus características edáficas, llegando incluso a carecer de salinidad y alcalinidad, permitiendo el desarrollo de especies arbóreas. Se aprecian además sitios con suelo *Hapludol éntico* con alta alcalinidad y salinidad.

Desde el punto de vista edáfico, las características de los suelos de las depresiones intermedanasas son en general mucho más críticas y limitantes para el desarrollo vegetal, que suelos aledaños a las lagunas aquí analizadas; sin embargo, en los ambientes de intermedanos no se pudo evaluar la calidad del agua subterránea por no disponerse de pozo o frentímetro.

Estos suelos se presentan principalmente en zonas de tránsito y descarga de flujos de tipo intermedio y local; las zonas de descarga se identifican para los primeros por la presencia de características alcalinas y desarrollo de rasgos hidromórficos. Se identificó la presencia de sitios de recarga de flujo local (por ejemplo, sitios 19). Dado que el agua de un flujo intermedio recorre mayor distancia y profundidad que uno local, esto permite inferir con certeza que la zona de recarga de los sistemas intermedios identificados (por su descarga) se localiza fuera de los límites del área de estudio (esto ha sido también corroborado por el análisis de la modelación del flujo subterráneo, punto 4.4.2). Por otro lado, no se observan en todos los casos, asociaciones fácilmente previsible entre el suelo, vegetación, y calidad del agua, lo cual se vincula con que no fue factible coleccionar muestras de agua a diferente profundidad.

CONCLUSIONES SUELO-VEGETACIÓN

Los *suelos característicos de zonas de recarga* se corresponden con *Hapludol éntico*, *Udipsament típico*, sin rasgos de hidromorfismo, y sin salinidad-alcalinidad. Sin embargo, se identifican también estos suelos en zonas de tránsito de flujos local e intermedio, esto se explica por la profundidad del agua analizada ya que la lluvia acaecida se infiltra en partes relativamente altas de los médanos, sin embargo usualmente los pozos de abastecimiento no cuidan en extraer una calidad dada del agua encontrada a diferente profundidad, por lo que es común que la muestra obtenida esté compuesta de agua encontrada a lo largo del perfil de extracción.

Los *suelos de descarga* se corresponden con *Natracuoles*, *Natracualf*, *Hapludol ácuico*, y también con *Hapludol éntico*, pero en este caso con hidromorfismo, salino y alcalino, pudiendo establecerse a partir de estos el tipo de flujo subterráneo, local o intermedio.

Si bien las características del suelo permiten identificar zonas de recarga, tránsito, y descarga, no son suficientes en todos los casos para definir si se corresponden con flujos local, intermedio o regional. Resulta importante que esta definición se apoye además en estudios de calidad físico química del agua interpretada dentro del referente de la geomorfología regional, lo que permite explicar la presencia de zonas de tránsito e incluso descarga, en un ambiente local de loma. El uso de herramientas como la modelación matemática del flujo subterráneo puede resultar bastante instructiva esta definición.

En el área de estudio se ha reconocido la presencia de flujos de tipo local e intermedio, estimándose que los regionales (de mayor profundidad y distancia de recorrido) desembocan en el océano Atlántico, esto ha sido innegable por falta de evidencia de descarga de agua con calidad fisicoquímica y temperatura ya reportada en la literatura. A fin de contar con datos más fidedignos sobre el tipo de descarga sería conveniente identificar además de las

determinaciones de salinidad-alkalinidad tradicionales, establecer la composición aniónica. La magnitud y tipo de salinidad permite prever la evolución de las propiedades edáficas según el manejo agropecuario-forestal implementado.

Una vegetación natural permite identificar zonas de recarga y descarga, siendo más difícil establecerlas en sitios antrópicamente modificados. Por lo tanto se torna necesario recurrir a herramientas de la hidrogeoquímica para establecer la diferencia entre tipos de flujo (local, intermedio o regional) y comprobar esto a través de modelación computacional del flujo subterráneo. El tipo de vegetación natural que se ha desarrollado en ambientes de descarga suele ser de muy pocas especies a partir de un valor dado de conductividad eléctrica y alcalinidad, mientras que en zonas de recarga se observa que hay cultivos o pastura implantados.

En el área de estudio, en términos muy generales se puede postular que las *zonas de descargas de flujo intermedio* se corresponden con presencia de humatos sódicos en superficie y con muy escasa cobertura vegetal a nula. La alta cobertura vegetal con comunidades halófitas e hidrófitas en general se corresponde con *descarga de flujo local*.

4.4. Caracterización del agua superficial y subterránea

4.4.1 Modelación hidrogeoquímica

En la Tabla 4.41 se presentan los resultados de las mediciones de campo, oxígeno disuelto (OD), valores de sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), y pH medidos en laboratorio; indicándose tipo de manifestación, profundidad de muestreo, profundidad de la superficie freática y altura de los sitios muestreados (msnm, metros sobre nivel del mar).

La Figura 4.95 presenta la distribución de los datos hidrogeoquímicos en el diagrama de Piper-Hill, el cual muestra que las aguas se agrupan en varios grupos que se orientan siguiendo una tendencia al incremento del contenido de Cl^- y Na^+ .

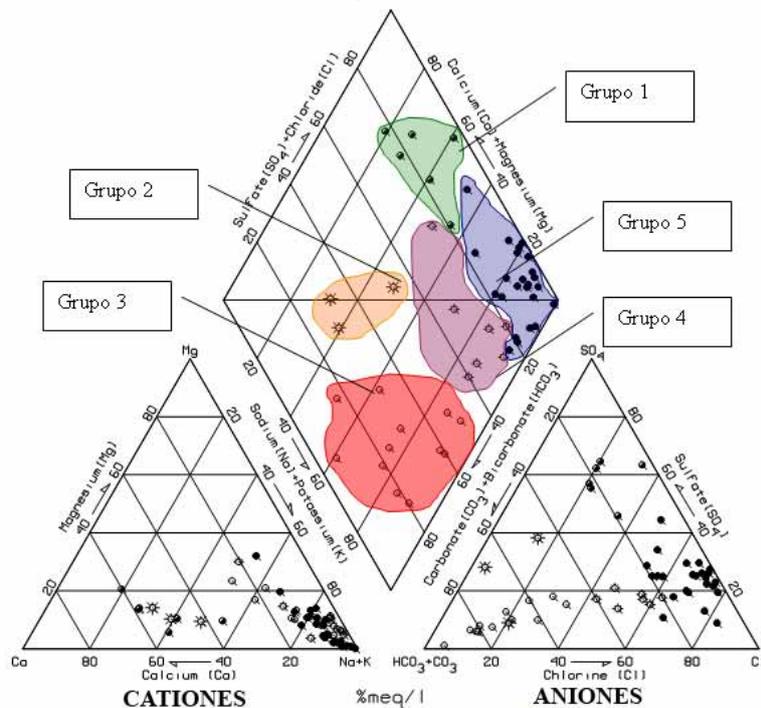


Figura 4.95 Distribución de los datos hidroquímicos en el diagrama de Piper-Hill.

Tabla 4.41 Determinaciones de campo y laboratorio, pH, OD, Eh, STD, CE, en diferentes manifestaciones y sitios de muestreo (M: Mendoza, SL: San Luis; y en Buenos Aires, P: Pehuajo, TL:Trenque Lauquen, CC: Carlos Casares, NJ: Nueve de Julio; J: Junín; G: Guamini; C: Carhué; R: Rivadavia)

Muestra	Manifestación (prof extracc, m)	SF m	msnm	pH campo	pH Lab	OD mg/l	Eh mV	T °C	CE _{campo} µS/cm	CE _{Lab} µS/cm	STD mg/l
AC 1	Pozo (13) M	1.85	84.4	7.04	8.14	2.7	496	16.40	1,697	1,884	1,361
AC 2	Pozo (6) M	2.5		7.01	8.75	1.2	1,556	16.30	3,820	3,500	2,244
AC 3	Pozo (30) M		57	6.98	8.12	4.7	1,445	18.30	18,500	18,300	8,864
AC 4	Pozo (200) M		964	7.43	7.35	9.7	912	15.10	516	854	648
AC 5	Pozo surgente(120) M		672	7.29	7.65	4.4	788	15.70	943	1,557	1,176
AC 6	Pozo (200-300) M		645	7.89	7.50	6.7	1,054	17.80	819	746	508
AC 7	Pozo (300) M		556	7.79	7.45	0.2	1,957	28.60	2,510	2,400	1,722
AC 8	Potrillo, Río (M)		1,361	8.15	7.63	9.7	1,551	26.20	991	898	685
AC 9	Dique Florida SL		1,025	8.64	6.83	9.9	1,576	21.10	252	213	164
AC 10	Pozo (10) SL	3	775	6.93	7.70	2.3	1,944	16.10	1,370	1,269	957
AC 11	Río Quinto, SL		557	8.20	7.48	11.1	630	25.80	1,189	1,157	918
AC 13	Laguna temp, P		82.2	9.02	8.19	11.6	-92	25.20	4,220	4,190	2,663
AC 14	Pozo silos, P	3.28	86.9	7.03	7.29		-1	19.10	5,400	5,150	3,252
AC 15	Freatímetro, P	2.30	86.8	ND	7.65		ND	27.00	ND	7,690	3,122
AC 16	Freatímetro, P	2.47	87.5	ND	7.36		ND	ND	ND	1,510	930
AC 17	Freatímetro, P	1.5	86	ND	7.21		ND	19.00	ND	1,536	1,805
AC 18	Freatímetro, P	3.5	86.3	ND	7.25		ND	19.50	ND	568	531
AC 19	Freatímetro, P	nd	85.9	6.98	7.04		-3	17.70	6,980	1,819	141
AC 20	Lag. El tostado, P			9.87	8.26	9.6	-28	21.00	9,870	10,420	7,296
AC 21	Freatímetro, P	3.6	84	6.92	7.26	0.5	-74	16.80	7,730	8,010	5,095
AC 22	Pozo, P	2.7	87.4	7.92	7.88	3.5	-86	23.50	9,060	9,350	6,274
AC 23	Pozo, P	2.6	89	8.29	8.03	2.6	-93	21.70	3,500	3,420	2,539
AC 24	Pozo, P	2.0		7.70	8.02	2.5	-89	18.50	2,480	3,660	2,958
AC 25	Pozo, P	nd		8.11	8.13	3.7	-86	22.30	3,250	3,200	2,772
AC 26	Pozo, TL	2.6	83	8.25	7.81	2.0	-74	17.80	4,300	4,180	2,830
AC 27	Freatímetro, TL	>3	97.3	ND	7.44		ND	ND	ND	1,618	1,108
AC 28	Lag. La Vidaña, TL		91	ND	6.69		ND	ND	ND	8,950	5,082
AC 29	Pozo, TL (40)	4.12	96.7	8.12	7.94	3.5	-75	18.20	3,110	3,010	1,914
AC 30	Pozo, TL(20)	4.12	102	no	7.60		ND	18.60	ND	646	530
AC 31	Pozo, TL(40)	Nd	110	7.60	7.90	2.3	-52	18.20	4,760	4,860	2,404
AC 32	Pozo, TL(28)	4.0	105	8.04	7.60	2.1	-88	18.10	1,090	1,015	551
AC 33	Pozo, TL (molino)	2.03	105	ND	7.67		ND	ND	ND	6,510	4,201
AC 34	Pozo, TL(6)	2.0	96	7.23	7.30	4.9	-87	19.10	18,360		22,323
AC 35	Pozo- tanque TL		87	ND	7.58		ND	ND	ND	11,850	7,543
AC 36	Pozo, TL (10)	nd	86	ND	7.63		ND	18.60	ND	11,850	1,533
AC 37	Freatímetro, TL	2.9	87	ND	7.90		ND	ND	ND	868	762
AC 38	Lag. Murphy, TL		85	ND	6.83		ND	ND	ND	19,800	14,133
AC 39	Lag. Tunas TL		83	ND	8.31		ND	23.00	ND	22,900	16,531
AC 40	Lag. Hinojo, TL		83.4	ND	8.25		ND	23.00	ND	18,100	12,653
AC 41	Lag. Cuero Zorro, R		95	ND	7.60		ND	25.50	ND	10,410	7,593
AC 42	Lag. Cochicó, G		102.5	ND	9.07		ND	23.00	9,750	10,270	7,099
AC 43	Lago Epecuén, C		94.5	9.53	8.88	8.2	-65	21.40	FE	75,600	67,356
AC 44	Lag. del Monte, G		102	ND	9.02		ND	ND	ND	17,730	11,767
AC 45	Lag. El Recado, P		80.5	ND	7.73		ND	20.00	ND	36,400	15,904
AC 46	Lag. La Salada, P		86.5	ND	7.31		ND	21.00	ND	8,610	5,478
AC 47	Pozo, ciudad P			8.33	8.19	6.9	0	19.70	1,555	1,481	1,103
AC 49	Pozo, 9 de Julio		69.2	8.18	8.14	1.2	-1	17.20	1,106	1,060	859
AC 50	Lag. Gómez, J		75	ND	9.20		ND	ND	ND	9,370	6,450
AC 51	Lag. Mar Chiquita, J		75.5	ND	8.09		ND	ND	ND	5,240	3,512

Los análisis químicos de macro y micro componentes de las muestras colectadas se exponen en la Tabla D1 en Anexo D, sobre agua superficial y subterránea. La ubicación de estas muestras por sus coordenadas geográficas se da en Tabla 3.2, y en las Figuras 3.2a-b, 3.3a-b, y 3.4 se presentan los sitios en imagen satelital.

A continuación se relacionan las características químicas, tipo de manifestación y localización del agua de cada grupo encontrado:

Grupo 1. Constituyen este grupo 6 muestras de agua, siendo del *tipo sulfatada-cálcica*, algunas muestras muestran ligera tendencia clorurada y sódica, con una concentración de STD entre 505 y 1,733mg/l. De las muestras, 4 provienen de pozos a 120 y 300m de profundidad y sólo 2 muestras son de agua superficial; con excepción de una muestra localizada en San Luis, las restantes se ubican en Mendoza. El patrón hidrogeoquímico medio es del tipo: 361-316 (Tabla 4.42a, Figura 4.96a)

Tabla 4.42a Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 1. Tipo predominante SO_4^{2-} - Ca^{+2} con tendencia a Cl^- y Ca^{+2}

Muestra	Manifestación	Localización	STD	Patrón hidrogeoquímico Na+K: Mg: Cl: HCO ₃ : SO ₄	Tipo hidrogeoquímico
AC6	Pozo	Mendoza	505	361-316	SO ₄ >Cl-Ca>Na
AC4	Pozo	Mendoza	583	361-316	SO ₄ >Cl-Ca>Na
AC8	Dique	Mendoza	653	361-235	SO ₄ >HCO ₃ >Cl-Ca>Na
AC11	Río	San Luis	760	631-316	SO ₄ >Cl-Na>Ca
AC5	Pozo	Mendoza	1,151	172-235	SO ₄ >HCO ₃ >Cl-Ca>Mg
AC7	Pozo	Mendoza	1,733	451-316	SO ₄ >Cl-Ca>Na

Grupo 2. El agua de las 3 muestras de este grupo presentan facies *bicarbonatada con tendencia a sulfatada, con predominio de los cationes calcio y sodio*; La mineralización del agua de estas muestras en términos de STD, varía entre 141 y 1,003mg/l. Las muestras provienen de fuente superficial o subterránea somera, siendo el agua superficial de la provincia de San Luis y la restante de un freático en Pehuajó (Tabla 4.42b, Figura 4.96b). El patrón hidrogeoquímico medio de este grupo es: 451-163

Tabla 4.42b Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 2. Tipo predominante: HCO₃-Ca-Na.

Muestra	Manifestación	Localización	STD	Patrón hidrogeoquímico Na+K: Mg: Cl: HCO ₃ : SO ₄	Tipo hidrogeoquímico
AC19	Freatímetro	Pehuajó	141	451-271	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
AC9	Dique	San Luis	151	361-163	HCO ₃ >SO ₄ -Ca>Na
AC10	pozo 10m	San Luis	1,003	541-154	HCO ₃ >SO ₄ -Na>Ca

Grupo 3. Este grupo lo forman 11 muestras de tipo *bicarbonatada-sódica, con tendencia a clorurada-sulfatada* (Tabla 4.42c, Figura 4.96c) con valor de STD entre 530 y 3,897mg/l. Las mismas pertenecen en su mayoría a pozos (9 muestras) y 2 de ellas provienen de freático. Pertenecen a Trenque Lauquen (5), Pehuajó (3), Carlos Casares (1) y Nueve de Julio (1). El patrón hidrogeoquímico medio es del tipo 811-361.

Tabla 4.42c Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 3. Tipo predominante: HCO₃-Na

Muestra	Manifestación	Localización	STD	Patrón hidrogeoquímico Na+K: Mg: Cl: HCO ₃ : SO ₄	Tipo hidrogeoquímico
AC30	Pozo	Trenque Lauquen	530	532-181	HCO ₃ -Na>Ca>Mg
AC37	Freatímetro	Trenque Lauquen	762	513-271	HCO ₃ >Cl-Na>Mg
AC49	Pozo	9 de Julio	894	811-181	HCO ₃ -Na
AC27	Freatímetro	Trenque Lauquen	1,108	721-190	HCO ₃ -Na>Ca
AC1	Pozo	Carlos Casares	1,571	811-181	HCO ₃ -Na
AC25	Pozo	Pehuajó	2,772	901-361	HCO ₃ >Cl-Na
AC24	Pozo	Pehuajó	2,958	901-361	HCO ₃ >Cl-Na
AC31	Pozo	Trenque Lauquen	3,897	901-361	HCO ₃ >Cl-Na

Grupo 4. Este grupo está constituido por 7 muestras de agua del tipo *clorurada bicarbonatada, principalmente sódica*, cuyos STD varían entre 531 y 4,201mg/l (Tabla 4.42d Figura 4.96d). Las muestras corresponden a pozos (5) y freáticos (3), y se distribuyen en Trenque Lauquen (3), Pehuajó (4) y Carlos Casares (1). El Patrón hidrogeoquímico medio es: 811-631.

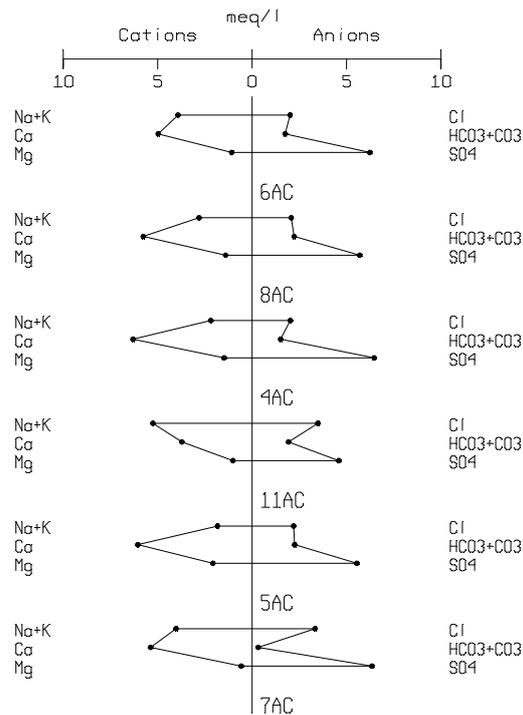
Tabla 4.42d Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 4. Tipo predominante: Cl>HCO₃-Na.

Muestra	Manifestación	Localización	STD	Patrón hidrogeoquímico Na+K: Mg: Cl: HCO ₃ : SO ₄	Tipo hidrogeoquímico
AC32	Pozo	Trenque Lauquen	636	811-532	Cl>HCO ₃ >SO ₄ -Na
AC2	Pozo	Carlos Casares	2,303	523-631	Cl>HCO ₃ -Na>Mg>Ca
AC23	Pozo	Pehuajó	2,539	811-541	Cl>HCO ₃ -Na
AC26	Pozo	Trenque Lauquen	2,830	811-541	Cl>HCO ₃ -Na
AC15	Freatímetro	Pehuajó	3,122	811-541	Cl>HCO ₃ -Na
AC33	Freatímetro	Trenque Lauquen	4,201	811-721	Cl>HCO ₃ -Na
AC22	Pozo	Pehuajó	6,274	811-721	Cl>HCO ₃ -Na

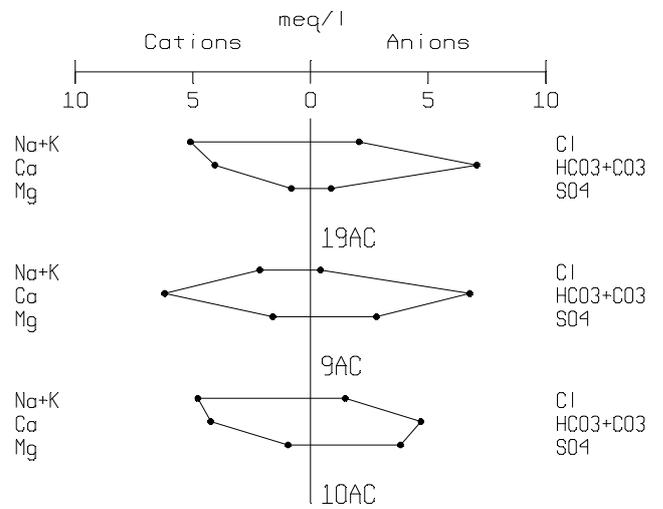
Grupo 5. Es el grupo con mayor número de muestras, lo integran agua del tipo *clorurada-sódica y con tendencia a clorurada-sulfatada* (Tabla 4.42e, Figura 4.96e) con el mayor contenido de STD (entre 930 y 67,356mg/l); está constituido por 23 muestras, correspondientes a pozos (6), freáticos (3) y lagunas (13). Su distribución es: 8 en Trenque Lauque, 7 en Pehuajó, 1 en Carlos Casares y las restantes en otras localidades. El patrón hidrogeoquímico medio: 811-712.

Tabla 4.42e. Grupos, manifestación, localización, STD y tipo de agua. Grupo 5. Tipo predominante: Cl>SO₄-Na.

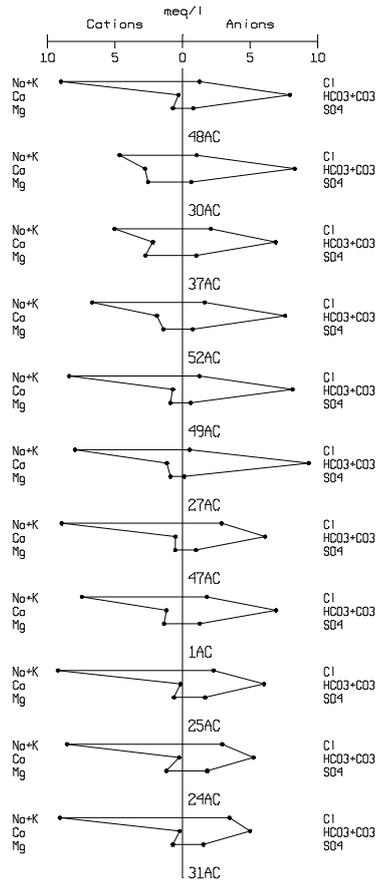
Muestra	Manifestación	Localización	STD	Patrón hidrogeoquímico Na+K: Mg: Cl: HCO ₃ : SO ₄	Tipo hidrogeoquímico
AC18	Freatímetro	Pehuajó	531	910-631	Cl>HCO ₃ -Na
AC16	Freatímetro	Pehuajó	930	901-712	Cl>SO ₄ -Na
AC36	Pozo	Trenque Lauquen	1,533	811-712	Cl>SO ₄ -Na
AC17	Freatímetro	Pehuajó	1,805	901-811	Cl-Na
AC29	Pozo	Trenque Lauquen	1,928	811-712	Cl>SO ₄ -Na
AC13	Laguna	Pehuajó	2,663	901-712	Cl>SO ₄ -Na
AC14	Pozo	Pehuajó	3,311	712-811	Cl-Na>Mg
AC51	Laguna	Junín	3,512	901-613	Cl>SO ₄ -Na
AC28	Laguna	Trenque Lauquen	5,082	811-802	Cl>SO ₄ -Na
AC21	Freatímetro	Pehuajó	5,095	523-811	Cl-Na>Mg>Ca
AC46	Laguna	Pehuajó	5,478	901-712	Cl>SO ₄ -Na
AC50	Laguna	Junín	6,450	901-514	Cl>SO ₄ -Na
AC42	Laguna	Guaminí	7,099	901-712	Cl>SO ₄ -Na
AC20	Laguna	Pehuajó	7,296	901-613	Cl>SO ₄ -Na
AC35	Pozo	Trenque Lauquen	7,543	712-712	Cl>SO ₄ -Na>Mg
AC41	Laguna	Rivadavia	7,593	901-514	Cl>SO ₄ -Na
AC3	Pozo	Carlos Casares	12,239	811-703	Cl>SO ₄ -Na
AC44	Laguna	Guaminí	11,767	901-712	Cl>SO ₄ -Na
AC40	Laguna	Trenque Lauquen	12,653	901-703	Cl>SO ₄ -Na
AC38	Laguna	Trenque Lauquen	14,133	811-703	Cl>SO ₄ -Na
AC45	Laguna	Pehuajó	15,904	901-802	Cl>SO ₄ -Na
AC39	Laguna	Trenque Lauquen	16,531	901-703	Cl>SO ₄ -Na
AC34	Pozo	Trenque Lauquen	22,850	802-802	Cl>SO ₄ -Na
AC43	Lago	Carhué	67,356	901-703	Cl>SO ₄ -Na



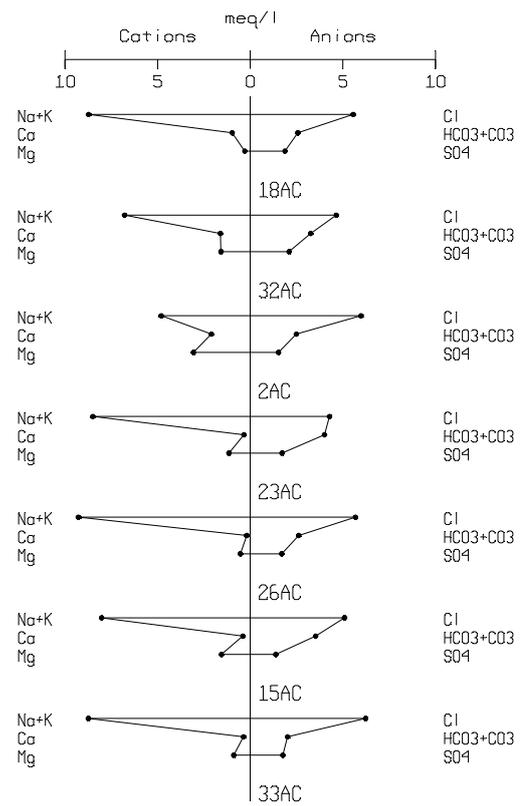
a) Grupo 1



b) Grupo 2



c) Grupo 3



d) Grupo 4

Figura 4.96 Patrones hidrogeoquímicos a) Grupo 1, b) Grupo 2, c) Grupo 3, d) Grupo 4, y e) Grupo 5 (en pagina siguiente)

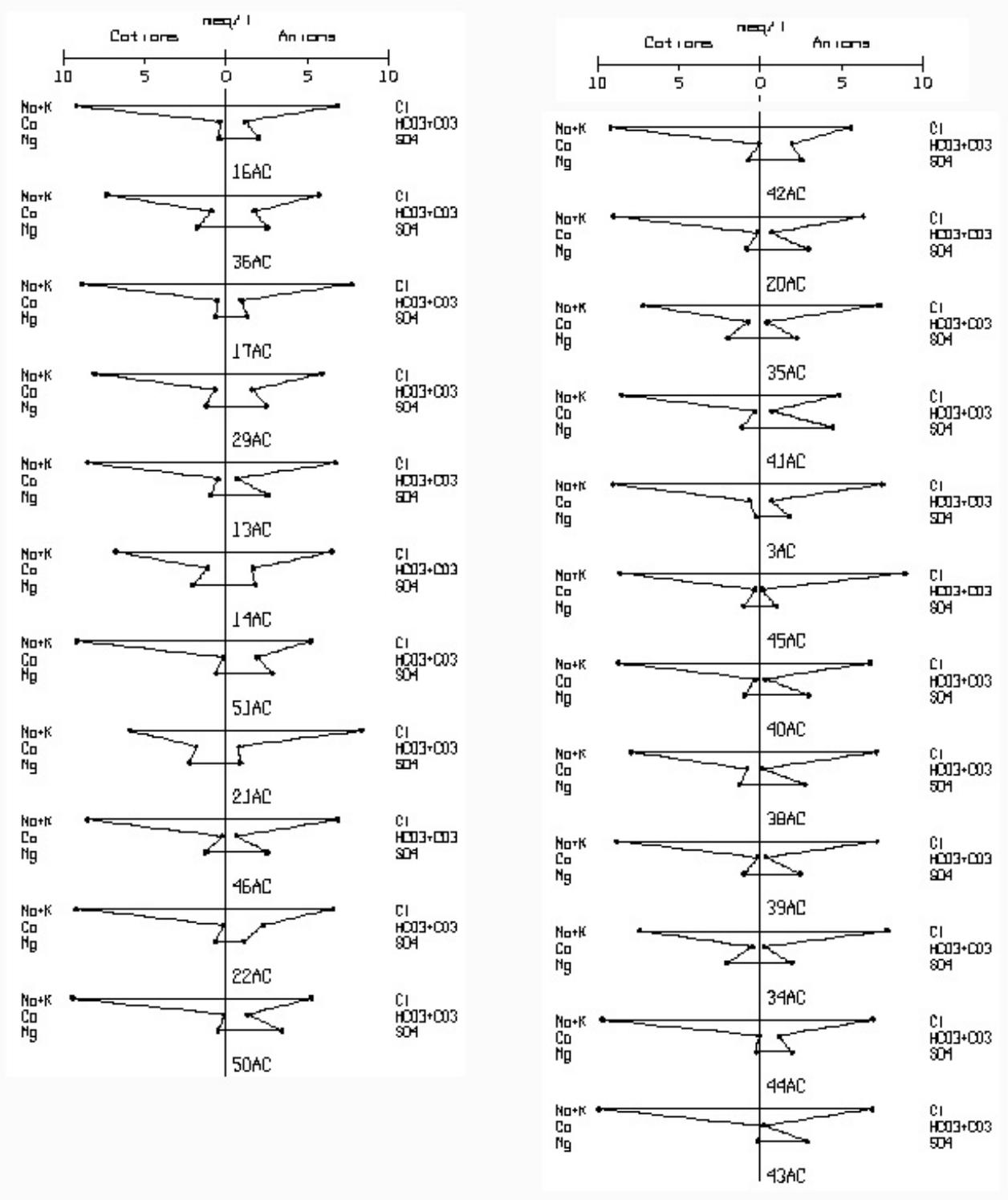


Figura 4.96 Patrones hidrogeoquímicos, e) Grupo 5 (continuación)

Evolución de la composición química del agua

A partir de la información que aparece en las Tablas 4.46a- 4.46e y las figuras 4.101a – 4.101e, se puede establecer el camino de evolución de la composición química del agua a lo largo de su trayectoria en las diferentes partes del área de estudio. A continuación se muestra una propuesta de camino de evolución química del agua sobre la base del estudio de los resultados analíticos.

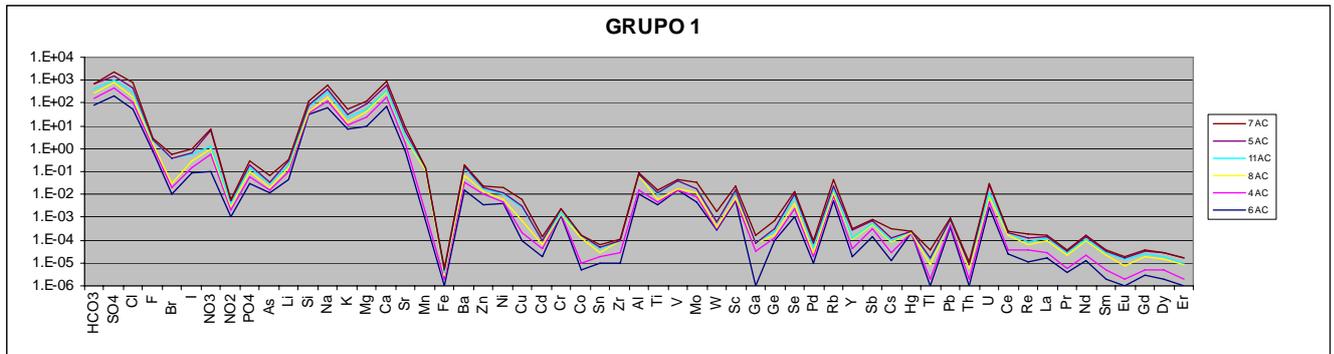


Figura 4.97a Composición química de las aguas del Grupo 1 (logaritmo de mg/l)

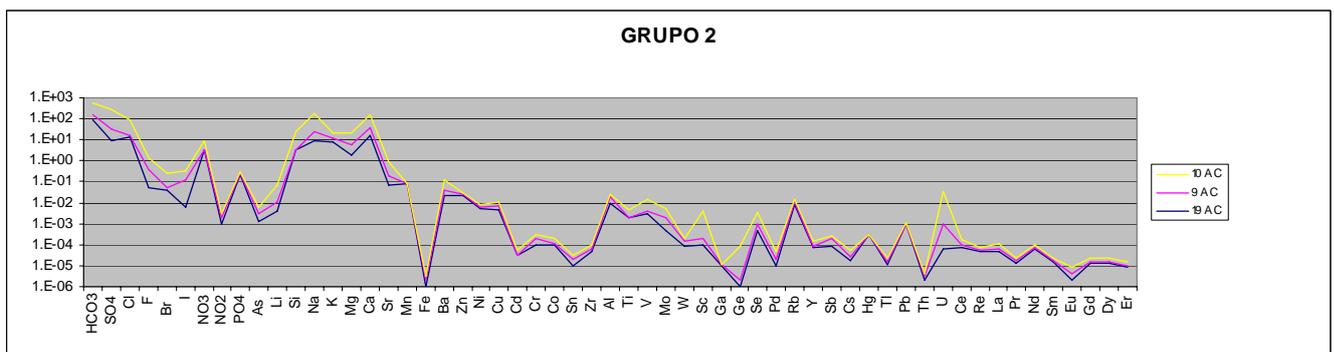


Figura 4.97b. Composición química de las aguas del Grupo 2 (logaritmo de mg/l)

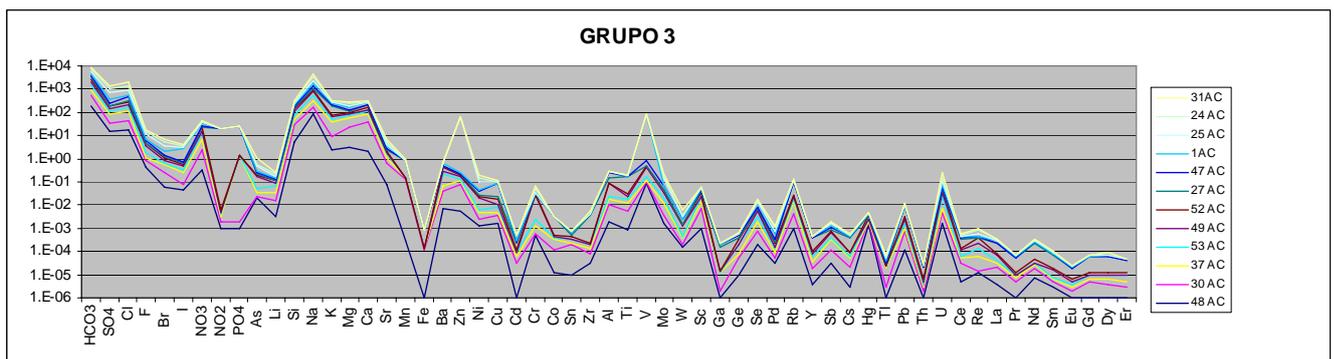


Figura 4.97c. Composición química de las aguas del Grupo 3 (logaritmo de mg/l)

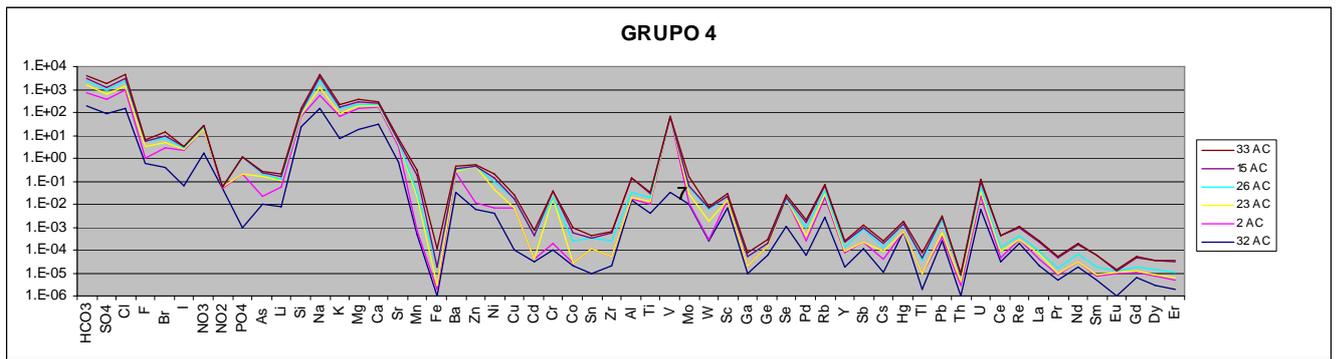


Figura 4.97d Composición química de las aguas del Grupo 4 (logaritmo de mg/l)

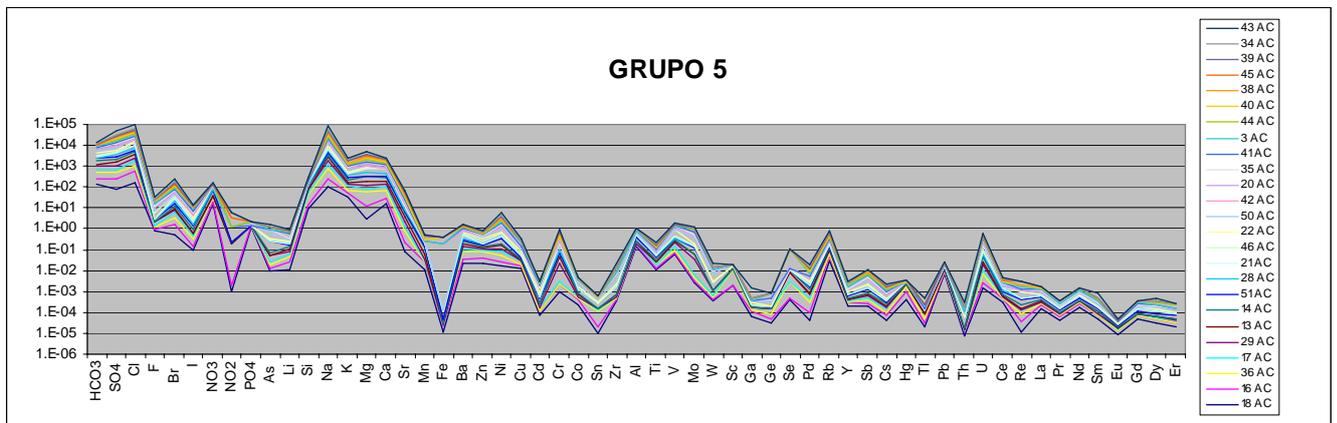


Figura 4.97e. Composición química de las aguas del Grupo 5 (logaritmo de mg/l)

En la provincia de *Mendoza* el agua sufre una apreciable variación, el valor medio de STD oscila entre 505 y 1,733mg/l, pero su composición relativa varía poco, primando el tipo hidrogeoquímico: $SO_4 > Cl - Ca > Na$ (Grupo 1).

En la provincia de *San Luis* la variación cuantitativa del agua subterránea va desde 151 a 1,003mg/l de STD y las facies varían desde $HCO_3 > SO_4 - Ca > Na$ a $HCO_3 > SO_4 - Na > Ca$ (Grupo 2) en ese orden a medida que aumenta la mineralización de sales que se encuentran disueltas en ésta.

En el partido de *Trenque Lauquen* el agua subterránea produce aproximadamente el camino evolutivo que se muestra a continuación.

En pozos:

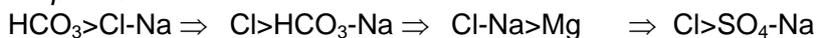
$HCO_3 - Na > Ca > Mg$	\Rightarrow	$Cl > HCO_3 - Na$	\Rightarrow	$Cl > SO_4 - Na > Mg$
Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5
STD = 530mg/l		STD = 2,830mg/l		STD = 22,850mg/l

En freáticos y lagunas:

$HCO_3 > Cl - Na > Ca > Mg$	\Rightarrow	$Cl > HCO_3 - Na$	\Rightarrow	$Cl > SO_4 - Na$
Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5
STD = 762mg/l		STD = 4,201mg/l		STD = 16,531mg/l

En el partido de *Pehuajó* se puede indicar la existencia de una tendencia evolutiva en las aguas muestreadas en freáticos y lagunas, pero no en los pozos, tal como se ejemplifica a continuación:

En pozos:

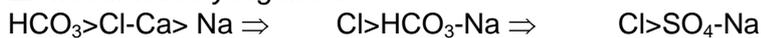


Grupo 3 Grupo 4 Grupo 5

STD = 2,772 mg/l STD = 2,539mg/l STD = 3,311mg/l

Por lo que se aprecia que en STD, en los pozos muestreados en Pehuajò, no se dan variaciones significativas no obstante ser aguas de diferentes grupos.

En frentímetros y lagunas:



Grupo 2 Grupo 4 Grupo 5

STD = 141mg/l STD = 3,122mg/l STD = 15,904mg/l

En las localidades de *9 de Julio* y *Carlos Casares* la concentración de STD del agua varió entre 894 y 12,239mg/l mientras que el tipo de agua varió de $\text{HCO}_3 > \text{Na}$ (Grupo 3) a $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{Na}$ (Grupo 5).

En la Tabla 4.43 se presenta un **esquema general de evolución química del agua** estudiada para el Noroeste Bonaerense.

Este esquema sugiere que el agua tiende a evolucionar por lo general, desde facies de tipo *sulfatada-bicarbonatada* y *bicarbonatada-sulfatada*, prosiguiendo por facies *bicarbonatada-clorurada*, seguida de *clorurada bicarbonatada*, hasta *facies clorurada* y *clorurada sulfatada*. En relación con los cationes, la evolución va desde *cálcica* hasta *sódica*.

Tabla 4.43 Esquema general de evolución química del agua estudiada para el Noroeste Bonaerense

Muestra	Manifestación	Grupo	STD mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Tipo
AC4	Pozo 200m, Mendoza	1	583	78	60	263	107.0	107.0	56	3.2	SO ₄ >Cl-Ca>Na
AC11	Rio Quinto, San Luis	1	760	130.56	136.87	244.95	82.76	13.85	138.92	12.12	SO ₄ >Cl-Na>Ca
AC10	Pozo San Luis	2	1,003	391.07	71.27	251.20	116.23	16.04	147.9	9.38	HCO ₃ >SO ₄ -Na>Ca
AC23	Pozo, Pehuajò	4	2,539	860	534	534	24.0	49.1	755	26.8	Cl>HCO ₃ -Na
AC45	Laguna El Recado	5	15,904	286	4,480	1,740	230.0	670.0	8,240	257.0	Cl>SO ₄ -Na
AC43	Lago Epecuén	5	67,356	1,382	28,600	14,100	15.0	119.0	22,800	340.0	Cl>SO ₄ -Na

Estos cambios se producen, principalmente, como resultado del movimiento del agua de los *flujos locales e intermedio desde la zona de recarga hasta la zona de descarga*, en estas últimas (usualmente lagunas) es donde se mezcla el agua de estos flujos con agua de carácter más profundo y regional. En efecto, en las *lagunas*, la calidad del agua de descarga sufre un cambio apreciable debido a procesos de diferente naturaleza: pérdida de gas (CO₂) acompañado de recombinación iónica con precipitación de minerales, cambio de pH ácido a básico, variación del potencial de oxidación-reducción de reductor a oxidante (pasando el Fe²⁺, soluble a Fe³⁺ que forma hidróxidos férricos insolubles; el H₂S se oxida a azufre coloidal que precipita, entre otros cambios). Finalmente, se producen también procesos de evaporación y aumento en la concentración de la solución acuosa, y la precipitación de minerales, primero los más insolubles (dolomita, calcita, sílice) y luego los más solubles (como yeso y halita).

Origen de la composición química del agua

El agua subterránea juega un papel activo como agente geológico, es capaz de actuar con el ambiente (Tóth, 2000) y producir cambios físicos (lubricación y modificación de las presiones intersticiales), químicos (disolución, hidratación, hidrólisis, oxidación-reducción, precipitación, intercambio iónico, etc.), y cinéticos (transporte de: agua, materia acuosa, no acuosa, y calor). En general, el agua natural adquiere su composición química mediante un complejo proceso de interacciones químico-físicas en el que intervienen además, factores de tipo geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, microbiológico, antrópico y otros (Fagundo, 1990).

En particular, la actividad humana tiene cada vez mayor relevancia como factor de control de la calidad del agua, esto se ha hecho evidente a consecuencia de la extracción intensa de agua subterránea en medios geológicos de gran espesor (Carrillo-Rivera, 2000; Carrillo-Rivera *et al.*, 2002; Huizar-Álvarez y Carrillo-Rivera, 2004). El cambio de la calidad del agua con la extracción se ha visto acompañado del incremento de la temperatura del agua y del contenido de determinados compuestos químicos procedentes de flujos de carácter regional, los cuales se formaron mediante procesos de interacción agua-roca que se dan por la mayor profundidad de recorrido del agua, lo que también implica un periodo largo de residencia del agua.

La existencia de agua de mineralización y composición química variada es común en un territorio con notoria complejidad geológica (Shterev, 2004; Vinograd, 2004), tal como en la presente tesis. Sin embargo, si bien en general se acepta que la diferenciación química del agua en relación con los minerales de la litología atravesada es más notoria en agua de flujos locales o de recorrido somero, recientemente se ha observado que en flujos de largo recorrido la química del agua se torna más homogénea e independiente de las rocas donde se originaron (Carrillo-Rivera *et al.*, 2007).

De acuerdo con el informe del PMI (1999) es factible postular que los sistemas de flujo de agua subterránea del área circulan en su parte más superficial por las formaciones Araucana, Puelche y Pampeana, las que superficialmente están cubiertas por dunas de arena de la Formación Médano Invasor (Tabla 4.44); unidades todas que suman un espesor acuífero importante de 100 a 500m de espesor. Debajo de estas unidades existe una secuencia de formaciones geológicas poco conocidas desde la perspectiva hidrogeológica (Parana, Olivos, Las Chilcas, Belgrano) las que en su conjunto llegan a tener entre 1,000 a 6,000m de espesor, dependiendo del sitio (ver punto 2.1.2.3). Estas formaciones son de gran interés al permitir la presencia de sistemas de flujo regional.

Con el objetivo de explicar el origen de la composición química del agua, conocimiento que posteriormente permite **postular el tipo de sistema de flujo** (local, intermedio, regional) y su componente identificada (*recarga, tránsito, descarga*) en el área de estudio, se aplicaron **métodos de balance de masa, y de mezcla de agua** (Garrels y Mackenzie, 1967; Fagundo-Sierra *et al.*, 2001). En la Tabla 4.44 se presenta un resumen de la litología (PMI, 1999; 2005) del área de estudio; así como la composición mineralógica reportada o inferida de cada formación geológica. La composición mineralógica de los depósitos superiores pampeanos en Buenos Aires, ha sido determinada por Etchichurry *et al.* (1988), y se resume en la Tabla 4.45.

Teniendo en cuenta la información recogida en las Tablas 4.48 y 4.49 para la *modelación de los procesos geoquímicos que originan la composición química del agua*, y lo indicado en el punto siguiente referido al grado de saturación del agua en función de minerales constitutivos por donde teóricamente circulan, fueron considerados los siguientes minerales como principales responsables: halita, yeso, calcita, cuarzo, plagioclasa (albita y anortita), feldespato-K, biotita y el mineral arcilloso. El tipo de plagioclasa presente, se estimó sobre la relación Na^+/Ca^{2+} del agua de fórmula aproximada: $Na_{0.96}Ca_{0.04}Al_{1.04}Si_{2.96}O_8$.

En la Tabla 4.46 se muestran los *procesos geoquímicos* (contemplados en el algoritmo del sistema informático) que dan lugar al intemperismo de estos materiales, así como a otros procesos geoquímicos asociados.

Tabla 4.44 Composición mineralógica propuesta para la modelación hidrogeoquímica basada en la litología reportada en PMI (1999) y (2005)

Formación	Edad	Litología (Salinidad del agua)	Mineralogía reportada o inferida
Médano Invasor (o Junín)	Holoceno	Arena fina a limosa, limo arcilloso con ceniza volcánica (STD, 500-2,000mg/l)	Cuarzo, plagioclasa, feldespato-K, calcita, arcilla, mineral portador de magnesio (auguita, hipersteno y hornblenda), halita.
Pampeano	Pleistoceno	Limo arenoso, limo arcilloso y calcáreo, arcilla yesífera, loess (STD, 1,000-30,000mg/l)	Cuarzo, plagioclasa, feldespato-K, calcita, arcilla, mineral portador de magnesio (auguita, hipersteno y hornblenda), halita.
Araucano	Plio-Pleistoceno	Arenisca arcillosa, cemento calcáreo y yeso abundante (STD > 5,000mg/l)	Yeso, cuarzo, plagioclasa, feldespato-K, calcita, mineral arcilloso (caolinita), halita.
Arenas Puelches	Plio-Pleistoceno	Arena fina a mediana en matriz arcillosa algo de mica (STD, 2,000-10,000mg/l)	Cuarzo, plagioclasa, feldespato-K, moscovita, halita, yeso.
Paraná (Superior e Inferior)	Mioceno Superior	Arcilla verde a azulada, arena con calcáreos (STD 2,000-10,000 a >100,000 mg/l)	Cuarzo, plagioclasa, feldespato-K, calcita, mineral arcilloso (caolinita), halita.
Olivos	Mioceno Inferior	Arenisca, arcilla rojiza, yeso y anhidrita (STD, 6,000-60,000mg/l)	Halita, plagioclasas, feldespato, calcedonia, yeso, anhidrita, mineral arcilloso (caolinita).
Las Chilcas	Paleoceno	Limolita y arcilla marinas (STD elevados)	Limonita, mineral arcilloso (caolinita), cuarzo, halita, yeso.
G. Belgrano	Cretácico	Arenisca consolidada y limonita arenosa, arenisca arcillosa, calcárea y yesífera (STD > 50,000mg/l)	Cuarzo, limonita, mineral arcilloso (caolinita), plagioclasa, feldespato-K, calcita, halita, yeso.
Basamento Hidrogeológico	Paleozoico	Cuarcita y caliza	Cuarzo, calcita.
	Precámbrico	Granito y gneiss (STD muy altos)	Cuarzo, halita, yeso.

Tabla 4.45 Composición mineralógica de los depósitos superficiales en la provincia de Buenos Aires (Etchichurry *et al.*, 1988)

COMPOSICIÓN ROCA O MINERAL (% en vol)	HORIZONTE LITOLÓGICO					
	D	F	B1	B2	H1	H2
Profundidad (m)	0-3	0-12	0-3	3-6	0-2	9-12
Número de datos	1,071	492	779	400	666	402
Cuarzo cristalino	19.67	26.03	20.62	27.75	19.58	25.16
Cuarzo policristalizado	1.35	2.27	0.94	1.75	1.53	2.52
Calcedonia	0.09		0.11			
Plagioclasa	15.42	18.40	21.07	20.75	16.59	20.43
Feldespato-K	7.03	6.47	8.02	6.00	7.11	5.12
Auguita	0.99		0.91		1.22	
Hipersteno	0.28		0.26		0.23	
Hornblenda	0.37		0.20		0.29	
Lamprobolita	0.19		0.39		0.21	
Granate	0.09		0.12		0.15	
Rutilo		0.20	0.07			
Circón	0.09		0.14		0.17	
Minerales opacos	0.84		1.03		1.65	
Riolita (biotita, cuarzo, feldespato alcalino, ortoclasa, oligoclasa, auguita)		15.13		14.20		17.24
Andesita (hornbenda, biotita, auguita, hipersteno)		0.61				0.72
Basalto (labradorita, plagioclasa cálcica, auguita, hornblenda, biotita)		6.54		7.10		5.90
Toba		0.61		1.75		1.39
Arenisca		1.66		1.50		0.69
Alterita	47.15	20.25	37.78	17.50	44.06	18.78
Suma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Modelo de balance de masa.-En la Tabla 4.47a-4.51d se muestran los resultados del procesamiento mediante un *modelo de balance de masa de los datos hidrogeoquímicos* correspondientes a las provincias de Mendoza y San Luis (TABLA 4.47a), y la provincia de Buenos Aires: partidos de Trenque Lauquen (TABLA 4.47b), Pehuajó (TABLA 4.47c), y partidos de 9 de Abril y Carlos Casares (TABLA 4.47d).

En la Tabla 4.47e se presentan los procesos geoquímicos que explican la composición química de lagunas en localidades vecinas a Trenque Lauquen, resultado de interacción agua-material acuífero. Aunque en todos los casos la composición química del agua *se puede mediante procesos geoquímicos similares*, dada la composición similar de minerales presentes (probables), la proporción en que ocurren los *procesos de intemperismo es diferente*.

El agua que circula por la zona de recarga de las provincias de *Mendoza y San Luis* adquiere su composición, principalmente, mediante procesos de disolución de minerales, salvo en algunas ocasiones en que se produce pequeña precipitación de algún mineral (calcita). En *Trenque Lauquen* se produce precipitación de calcita del agua que posee contenido de STD superior a 3,800mg/l. En agua con STD superior a 7,500mg/l se origina un proceso de intercambio catiónico entre calcio y sodio (se incrementa el Ca a expensas del Na). En *Pehuajó* el proceso de adquisición de la composición química del agua se produce la precipitación de calcita en todos los casos, y el intercambio iónico inverso se origina en aquella agua cuyo contenido de STD supera los 12,000mg/l.

El agua de sitios restantes de la *provincia de Buenos Aires* adquiere su composición química en forma similar a los otros territorios anteriormente descritos; aquí el proceso de *precipitación de calcita* sucede en agua con valor de STD superior a 1,300mg/l.

Modelo de mezcla.-El análisis de la adquisición química del agua hasta el presente se ha hecho sobre la base de *suponer solamente el aporte de las zonas de recarga*, para el agua superficial, para la subterránea somera y profunda captada en ríos, diques, freáticos y pozos. Sin embargo, una interpretación más precisa pudiera hacerse tomando en cuenta la presencia de *mezclas de agua con flujos de carácter local, intermedio y regional*.

Según González (2005) el agua subterránea vinculada con unidades medanosas, se comporta como *libre*, conformada por flujos de tipo local directamente relacionados con agua de lluvia, por lo que es el principal proveedor de agua con baja salinidad.

En relación con las unidades acuíferas confinadas más profundas y que se relacionan con la Formación Médano Invasor, González (2005) reconoce la presencia de agua que proviene de otros sitios que aquí se pueden considerar como descarga de flujo intermedio (o regional), y que se hace evidente por la presencia de surgencias de agua que representan el movimiento vertical desde un nivel profundo hacia la superficie.

En el PMI (1999) se sugiere que el agua superficial recibe sal proveniente del sistema de agua subterránea a través de ríos, drenes y canales que son sumidero de salinidad, también hay aporte de la evaporación, y la disolución de material Post-Pampeano a lo largo de cursos fluviales durante el trasvase de cuenca. El STD en el Canal Mercante, que drena la cuenca interna del Río Salado es de 7,800 a 17,600mg/l.

Las lagunas de las depresiones intermedanosas tienen elevada concentración de STD, lo que se manifiesta en una costra salina observada en su ribera y sal depositada en la vecindad de las mismas. Ello sugiere que la concentración original del agua era mucho mayor que la que

denota el análisis químico por lo que se ha producido un gran *proceso de evaporación y precipitación* de minerales. Esto se ilustra mediante el análisis de los resultados de los isótopos estables del hidrógeno y el oxígeno, a tratarse más adelante.

Aún obviando la fracción de agua evaporada, se puede estimar el origen de la composición química del agua muestreada en las lagunas. Precedentemente, se presentaron los resultados obtenidos mediante el modelo de balance de masas (primer caso) se ilustran en las Tablas 4.51a-4.51e, y a continuación se presentan los resultados aplicando el modelo de mezcla.

Para el **modelo de mezcla** se tomó como referencia de miembro extremo de *más baja salinidad* de la mezcla, al agua de un freático del territorio más próximo a las lagunas: la **muestra AC33** para aquellas ubicadas cerca de Trenque Lauquen (La Vidaña, Las Tunas, Hinojo, Murhy, Cuero Zorro,) y la muestra **AC17**, para las lagunas cercanas a Pehuajó (laguna temporal, y laguna permanente del establecimiento El Tostado, y las lagunas La Salada, El Recado). Como miembro extremo de *máxima salinidad* se tomó una muestra de agua (BA73) que representa el flujo regional en la provincia de Buenos Aires (Pesce y Miranda, 2003) con temperatura del orden de 75-80 °C y STD de 127,000mg/l, tomada en Los Gauchos, en la localidad de Villalonga a una cota de 15msnm y se extrajo de un pozo de 1116.2m de profundidad y un caudal de 2.8l/s.

La Tabla 4.47f, indica el proceso de adquisición de la composición química del agua de las lagunas estudiadas, infiriendo el *proceso de mezcla entre agua* subterránea (evidente en los freáticos seleccionados) y un flujo regional. Se origina la *disolución notable de minerales* como yeso, albita y biotita, tiende a producirse *precipitación alta* de halita, calcita, cuarzo y arcilla, y ocasionalmente dolomita. Estos resultados se corresponden con observaciones de campo donde, en el sedimento que yace en el borde, superficie y fondo de las lagunas se observan cristales de halita, cuarzo, calcita, lodo arcilloso oscuro sulfurado y otros minerales, incluyendo sulfuro de hierro, materia orgánica abundante y microalgas.

En el agua que se evapora, precipita gran cantidad de sales disueltas. En algunos lagos salados se produce yacimiento de yeso o de NaSO_4 y también de CaCO_3 en gran cantidad. Por lo general la aragonita y la calcita (ambas son CaCO_3 , difieren en la cristalización) son algunos de los primeros minerales en depositarse (Rankama y Sackema, 1962). Dependiendo de la relación molar alcalinidad/calcio, se puede tener precipitación preferencial de uno u otro mineral.

Los resultados hidrogeoquímicos del agua estudiada, muestra que esta se comporta acorde con el modelo de Herdick-Eugster (Drever, 1988) para agua evaporada. Según este modelo, cuando *la alcalinidad > 2 moles/l Ca^{2+}* precipita CaCO_3 . Esto es, cuando la concentración de HCO_3^- (en moles/l) es mayor que 2 veces la concentración de Ca^{2+} en moles/l (o igual a una vez su concentración en meq/l). Situación que se da en las lagunas estudiadas, y que explica la precipitación de este mineral en procesos de evaporación. En esas condiciones, el Ca^{2+} precipita durante la evaporación, y la solución tenderá a ser una salmuera carbonatada alcalina. Si al contrario, *2 moles/l Ca^{2+} > alcalinidad*, todo el carbonato será removido de la solución y esta tenderá a originar una salmuera sulfatada o clorurada neutra.

Tabla 4.47a Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en Mendoza y San Luis, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un modelo de balance de masas) concentración iones en milimol/l

	AC6	AC4	AC8	AC11	AC5	AC7	AC9	AC10	AC19
Manifestación	Pozo	Pozo	Dique	Río	Pozo	Pozo	Dique	Superf.	Freatim.
Localización	Mendoza	Mendoza	Mendoza	San Luis	Mendoza	Mendoza	San Luis	San Luis	San Luis
Grupo de agua	1	1	1	1	1	1	2	2	2
STD	505	583	653	760	1151	1733	141	151	141
Halita	1.310	1.547	1.826	3.699	3.586	8.629	0.240	1.854	0.243
Yeso	2.281	2.740	2.740	2.552	4.740	8.396	0.267	2.615	0.087
Calcita	-0.019	-0.166	-0.053	-0.719	0.394	-1.427	0.268	-0.148	0.246
Albita	1.340	0.682	0.536	2.134	0.000	1.292	0.146	4.371	0.000
Anortita	0.121	0.061	0.048	0.192	0.000	0.116	0.013	0.393	0.000
Biotita	0.368	0.603	0.649	0.541	1.766	0.745	0.125	0.628	0.052
Feldespató-K	0.056	0.000	0.000	0.123	0.000	0.421	0.040	0.022	0.176
Int-iónico Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.322	0.000	0.000	0.000	0.022

Tabla 4.47b Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en localidades de Trenque Lauquen, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un modelo de balance de masas) concentración iones en milimol/l

	AC30	AC37	AC27	AC31	AC32	AC26	AC33	AC36	AC29	AC35	AC34
Manifestación	Pozo	Freatim	Freatim.	Pozo	Pozo	Pozo	Freatim	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo
Grupo de agua	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5
STD	530	762	1,108	3,897	636	2,830	4,201	1,533	1,928	7,543	22,850
Halita	0.536	1.795	0.637	17.925	4.094	22.967	38.150	12.206	16.826	90.826	295.615
Yeso	0.218	0.474	0.091	4.021	0.9658	3.469	5.427	2.729	3.615	13.958	36.979
Calcita	0.426	0.084	0.656	-6.560	-0.484	-4.709	-6.378	-2.641	-3.417	-9.766	-29.377
Albita	2.741	4.776	0.970	33.605	2.479	17.562	22.510	9.106	8.747	0.000	0.000
Anortita	0.247	0.430	0.087	3.024	0.223	1.581	2.026	0.819	0.784	0.000	0.000
Biotita	0.828	1.258	0.649	1.849	0.703	1.070	2.741	1.916	1.745	12.958	39.512
Feldespató-K	0.000	0.281	2.774	0.000	0.000	0.805	0.440	0.434	0.354	0.518	0.000
Int-ión Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.608

Tabla 4.47c Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua de la localidad de Pehuajó, resultado del proceso de interacción agua y material acuífero (aplicando un modelo de balance de masas) concentración iones en milimol/l

	AC25	AC24	AC18	AC23	AC22	AC15	AC16	AC17	AC14	AC21
Manifestación	Pozo	Pozo	Freatim.	Pozo	Pozo	Freatim.	Freatim.	Freatim.	Pozo	Freatim.
Grupo de agua	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5
STD	2,772	2,958	531	2,539	6,274	3,122	930	1,805	3,311	5,478
Halita	8.094	11.53	4.460	14.88	64.09	20.150	12.291	23.502	35.05	73.925
Yeso	3.010	3.615	0.779	3.021	5.260	2.760	1.833	2.000	4.833	3.979
Calcita	-5.07	-5.29	-0.419	-4.06	-6.69	-4.590	-4.733	-2.531	-3.09	-10.880
Albita	25.39	23.70	0.026	17.73	20.94	28.771	0.000	0.000	0.000	0.000
Anortita	2.285	2.133	0.002	1.596	1.885	2.589	0.000	0.000	0.000	0.000
Biotita	1.124	2.378	0.093	2.016	3.245	3.112	0.337	0.970	5.553	10.012
Feldespat-K	0.810	0.000	0.000	0.005	0.139	0.000	0.112	0.903	0.000	0.000
Int-iónico Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.207	1.291	1.239	15.111

Tabla 4.47d Procesos geoquímicos que explican la composición química del agua en las localidades de 9 de Julio y Carlos Casares, resultado del proceso de interacción agua material acuífero (con un modelo de balance de masas) concentración iones en milimol/l

	AC49	AC1	AC2	AC3
Manifestación	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo
Localización	9 de Julio	C Casares	C Casares	C Casares
Grupo de agua	3	3	4	5
STD	894	1,517	2,303	12,239
Halita	1.215	3.502	21.361	140.122
Yeso	0.335	1.302	2.750	26.354
Calcita	-0.704	-1.111	-1.453	-21.046
Albita	8.314	10.853	0.000	11.134
Anortita	0.748	0.977	0.000	1.002
Biotita	0.466	1.374	5.553	15.637
Feldespat-K	0.189	0.524	0.000	0.000
Int-Iónico Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	2.438	0.000

Tabla 4.47e Procesos geoquímicos que explican la composición química de lagunas en localidades vecinas a Trenque Lauquen, resultado de interacción agua-material acuífero (aplicando un modelo de balance de masas) concentración iones en milimol/l

	AC28	AC42	AC41	AC44	AC40	AC38	AC39	AC43
Manifestación	Laguna La Vidaña	Laguna Cochicó	Laguna Cuero Zorro	Laguna Del Monte	Laguna Hinojo	Laguna Murhy	Laguna Tunas	Lago Epecuén
Localización	T Lauquen	Guaminí	Rivadavia	Guaminí	T Lauquen	T Lauquen	T Lauquen	Carhué
Grupo de agua	5	5	5	5	5	5	5	5
STD	5,082	7,099	7,593	11,767	12,653	14,133	16,531	67,356
Halita (Cl)	62.939	57.305	55.333	127.164	138.432	165.755	190.23	805.474
Yeso (SO4)	9.646	13.021	25.521	17.917	30.625	31.875	32.500	146.875
Calcita (Ca)	-7.957	-16.976	-27.986	-21.852	-30.662	-24.148	-35.595	-163.246
Albita (Na)	5.512	46.833	47.501	48.278	31.358	19.252	47.354	185.621
Anortita	0.421	4.215	4.275	4.345	2.822	1.733	4.262	16.706
Biotita	1.485	3.787	6.428	2.308	10.095	14.512	13.595	4.928
Feldespatos-K	0.000	0.784	0.000	0.139	3.502	0.784	0.176	0.000
Int-lónico Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 4.47e (continuación).

	AC13	AC51	AC46	AC50	AC20	AC45
Manifestación	Laguna temporal	Laguna Mar Chiquita	Laguna Salada	Laguna de Gómez	Laguna El Tostado	Laguna El Recado
Localización	Pehuajó	Junín	Pehuajó	Junín	Pehuajó	Pehuajó
Grupo de agua	5	5	5	5	5	5
STD	2,663	3,512	5,478	6,450	7,296	1,5904
Halita	28.572	26.544	60.403	48.854	74.488	126.037
Yeso	5.469	7.375	11.146	15.938	17.396	18.125
Calcita	-5.034	-8.918	-11.344	-19.801	-18.742	-33.296
Albita	6.392	21.507	12.865	46.153	23.128	232.014
Anortita	0.575	1.936	1.158	4.154	2.082	20.881
Biotita	2.062	1.595	5.512	2.233	5.012	27.887
Feldespatos-K	0.190	1.763	0.000	3.502	0.337	0.337
Int. lónico Na-Ca (Ca)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 4.47f Procesos geoquímicos de mezcla que explican la composición química de lagunas en localidades de Trenque Lauquen y Pehuajó, resultado del proceso de interacción agua material acuífero (aplicando un *modelo de mezcla de agua*) concentración iones en milimol/l

	AC28	AC42	AC41	AC44	AC40	AC38	AC39	AC43
Manifestación	Laguna La Vidaña	Laguna Cochicó	Laguna Cuero Zorro	Laguna Del Monte	Laguna Hinojo	Laguna Murhy	Laguna Tunas	Lago Epicuén
Localización	TLauquen	Guaminí	Rivadavia	Guaminí	TLauquen	TLauquen	TLauquen	Carhué
Grupo de agua	5	5	5	5	5	5	5	5
STD	5,082	7,099	7,593	11,767	12,653	14,133	16,531	67,356
% R1 (AC33)	99.5	98.1	98.0	94.5	94.1	93.7	91.0	54.6
% R2 (BA73)	0.05	1.9	2.0	5.5	5.9	6.3	9.0	45.4
Halita (Cl)	9.816	-21.644	-24.544	-28.406	-24.406	-22.434	-39.440	-198.815
Yeso (SO4)	4.173	7.467	19.965	12.128	24.814	25.986	26.483	138.473
Calcita (Ca)	-6.054	-12.700	-23.747	-18.731	-30.677	-25.463	-38.495	-189.419
Albita (Na)	0.000	30.055	30.624	42.183	26.279	17.716	51.621	298.168
Anortita	0.000	2.705	2.774	3.796	2.365	1.594	4.646	26.835
Biotita	2.577	0.232	2.859	0.000	4.880	8.793	7.053	0.000
Dolomita	0.000	0.000	0.000	-2.764	0.000	0.000	0.000	-16.986
Feldespat-K	0.000	0.458	0.000	2.545	0.020	0.000	0.271	3.664
Int-lónico Na-Ca (Ca)	2.508	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 4.47f (continuación)

	AC13	AC51	AC46	AC50	AC20	AC45
Manifestación	Laguna temporal	Laguna Mar Chiquita	Laguna Salada	Laguna de Gómez	Laguna El Tostado	Laguna El Recado
Localización	Pehuajó	Junín	Pehuajó	Junín	Pehuajó	Pehuajó
Grupo de agua	5	5	5	5	5	5
STD	2,663	3,512	5,478	6,450	7,296	15,904
% R1 (AC17)	99.4	99.0	97.5	97.0	96.3	88.1
% R2 (BA73)	0.6	1.0	2.5	3.0	3.7	11.9
Halita	-7.055	-19.450	-17.605	-39.803	-27.029	-152.118
Yeso	3.412	5.270	8.892	13.634	15.029	14.939
Calcita	-4.613	-8.999	-12.975	-21.873	-21.548	-21.618
Albita	10.515	26.947	22.376	57.132	35.721	266.968
Anortita	0.946	2.425	2.014	5.132	3.215	24.027
Biotita	0.843	0.163	3.422	0000	2.424	22.286
Dolomita	0000	0000	0000	-0.076	0000	0000
Feldespat-K	0000	0.928	0000	2.571	0000	0000
Int. lónico Na-Ca (Ca)	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Estado de saturación del agua respecto a minerales esperados en su recorrido

En este punto se estudia el estado del agua con respecto a su equilibrio químico con respecto a diferentes minerales que se consideran presentes en el subsuelo, esto es, si el agua se encuentra saturada, insaturada o sobresaturada, con respecto a los minerales constitutivos del medio acuífero. Estos estados indican la capacidad del agua para disolver, o no, mayor cantidad de mineral.

El grado de saturación de un agua con respecto a los minerales con los que tiene contacto se determina mediante la magnitud IS, **índice de saturación o solubilidad**:

$$IS = \log \frac{K_{IAP}}{K_{eq}}$$

Donde: K_{IAP} es producto de la actividad iónica (constante del producto de solubilidad calculado a partir de las concentraciones iónicas), y K_{eq} la constante termodinámica de equilibrio del mineral (constante del producto de solubilidad, o producto de actividad iónica o constante de equilibrio químico). Por ejemplo, K_{IAP} para la calcita es $K_C = (aCa^{2+})(aCO_3^{2-})/K_{Ceq}$. La actividad es igual al producto del coeficiente de actividad γ_x del ion x por la concentración molal del ion x: $a_x = \gamma_x m_x$, y:

$$-\log \gamma_x = \frac{AZ_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + a_i^0 B \sqrt{\mu}} \text{ (Ecuación de Debye-Hückel)}$$

Donde: A y B son parámetros que dependen de la temperatura, a_i^0 es el diámetro eficaz del ion "x", y μ es la fuerza iónica: $\mu = \sum(Z_x^* m_x^2)$.

Donde: Z_x es la valencia del ion "x".

Todas estas magnitudes son calculadas mediante HIDROGEOQUIM.

Cuando $IS = 0$, el agua se encuentra en equilibrio con el mineral, si $IS < 0$, se encuentra insaturada (capaz de seguir disolviendo mineral), y si $IS > 0$, el agua tiene minerales en exceso a su producto de solubilidad o actividad iónica y tiende a precipitar.

Como se indicó en materiales y métodos, a fin de determinar el grado de saturación del agua, fueron procesadas por PHREEQE, las muestras captadas en los diferentes puntos de muestreo. Los minerales seleccionados (se considera están presentes en el territorio en estudio) fueron los siguientes: halita, yeso, calcita, dolomita, sepiolita, cuarzo (en forma de mineral cuarzo, calcedonia y SiO_2 amorfo), minerales de hierro (goletita, hematina y $Fe(OH)_3$ amorfo), fluorita, pirolusita (MnO_2), celestita ($SrSO_4$), barita ($BaSO_4$), $Zn(OH)_2$ y $CdSO_4$. La sepiolita fue tomada en lugar de la biotita, por poseer el programa de computación utilizado las constantes termodinámicas necesarias para los cálculos.

En la Tabla 4.48 se presentan los resultados de estos cálculos. Del análisis de dicha tabla, se pueden determinar las regularidades y tendencias que se describen a continuación. Los valores del IS de los minerales **halita** y **yeso** son negativos, indicando que las aguas se encuentran insaturadas con respecto a esos minerales. Sin embargo, el grado de insaturación es menor a medida que aumentan los sólidos totales disueltos (STD) en el agua. El valor del índice de saturación de la halita (ISH) varían desde -8.9 en aguas más insaturadas, hasta -2.0 en las menos saturadas, mientras que con respecto al yeso, este índice (ISY) varía desde -3.8 hasta -0.4. Las aguas más insaturadas con respecto a la halita son las de los grupos 2 y 3, seguida del agua de los grupos 1 y 4, y las de menor insaturación son las del grupo 5. Este comportamiento es coherente con el menor contenido de Cl^- en las primeras y el mayor contenido de este ión en las últimas.

Tabla 4.48 Índices de saturación (IS) del agua respecto a diferentes minerales

Muestra	Grupo	Manifest.	TSS	IS Halita	IS Yeso	IS Calcita	IS Dolomita	IS Sepiolita	IS Cuarzo	IS Calcedonia	IS SiO ₂ (a)
6 AC	1	Pozo	502	-7.03	-1.29	0.08	-0.47	-4.32	0.78	0.33	-0.53
4 AC	1	Pozo	582	-7.04	-1.09	-0.27	-1.17	-7.83	0.15	-0.32	-1.19
8 AC	1	Dique	652	-6.98	-1.12	0.81	1.15	-5.20	-0.11	-0.53	-1.37
11 AC	1	Río	756	-6.33	-1.27	0.72	1.02	-2.96	0.63	0.20	-0.63
5 AC	1	Pozo	1,149	-6.62	-0.74	0.27	0.08	-6.86	0.39	-0.07	-0.94
7 AC	1	Pozo	1,724	-5.80	-0.48	0.34	-0.14	-4.19	0.73	0.31	-0.51
19 AC	2	Freat.	138	-8.40	-3.11	-1.29	-3.24	-11.92	-0.17	-0.62	-1.49
9 AC	2	Dique	150	-8.97	-2.50	0.50	0.51	-9.40	-1.76	-2.21	-3.06
10 AC	2	Pozo	999	-6.57	-1.14	-0.06	-0.76	-8.26	0.66	0.21	-0.67
48 AC	3	Pozo	301	-7.42	-3.79	-0.78	-1.08	-6.96	-0.06	-0.50	-1.35
30 AC	3	Pozo	527	-7.27	-2.54	0.20	0.42	-4.91	0.70	0.25	-0.61
37 AC	3	Freat.	751	-6.55	-2.25	0.55	1.25	-3.72	0.61	0.16	-0.70
53 AC	3	Pozo	978	-6.48	-2.42	-0.13	-0.34	-7.20	0.74	0.29	-0.57
49 AC	3	Pozo	889	-6.54	-2.78	0.54	1.20	-2.98	0.79	0.34	-0.53
52 AC	3	Pozo	804	-6.51	-2.39	-0.25	-0.57	-7.22	0.72	0.28	-0.58
27 AC	3	Pozo	1,060	-7.51	-3.07	0.29	0.49	-6.05	0.69	0.24	-0.63
47 AC	3	Pozo	1,133	-5.90	-2.53	0.65	1.38	-2.95	0.65	0.21	-0.65
1 AC	3	Pozo	1,556	-5.97	-1.86	-0.01	0.06	-6.45	0.91	0.45	-0.42
25 AC	3	Pozo	2,754	-5.30	-2.31	0.49	1.71	-2.97	0.68	0.24	-0.61
24 AC	3	Pozo	2,950	-5.12	-1.99	0.34	1.41	-3.84	0.78	0.33	-0.53
31 AC	3	Pozo	3,892	-4.79	-1.98	0.31	1.22	-4.65	0.74	0.29	-0.57
18 AC	3	Freat.	518	-6.32	-2.32	-0.92	-2.29	-9.27	0.28	-0.17	-1.03
32 AC	4	Pozo	634	-6.20	-2.04	0.23	0.49	-3.43	0.69	0.23	-0.63
2 AC	4	Pozo	2,284	-5.17	-1.24	0.18	0.54	-5.26	0.98	0.52	-0.35
23 AC	4	Pozo	2,531	-5.05	-1.97	0.88	2.39	-2.82	0.32	-0.12	-0.97
26 AC	4	Pozo	2,816	-4.76	-2.10	0.47	1.45	-2.56	0.70	0.25	-0.62
15 AC	4	Freat.	3,111	-4.77	-1.95	0.44	1.64	-4.61	0.38	-0.04	-0.87
33 AC	4	Freat.	4,187	-4.40	-1.56	-0.59	-0.75	-8.07	0.70	0.25	-0.62
16 AC	5	Freat.	925	-5.82	-2.13	-0.83	-1.50	-9.12	-0.20	-0.63	-1.46
36 AC	5	Pozo	1,528	-5.28	-1.69	-0.08	0.21	-4.12	0.78	0.33	-0.53
17 AC	5	Freat.	1,790	-5.01	-1.87	-0.66	-1.17	-8.11	0.19	-0.26	-1.12
29 AC	5	Pozo	1,925	-5.08	-1.58	0.48	1.24	-2.51	0.72	0.27	-0.60
13 AC	5	Laguna	2,655	-4.75	-1.51	1.10	2.64	-6.35	-1.87	-2.30	-3.14
14 AC	5	Pozo	3,302	-4.70	-1.17	0.08	0.49	-5.57	0.84	0.40	-0.46
51 AC	5	Laguna	3,480	-4.64	-1.80	0.27	1.14	-4.28	0.27	-0.18	-1.05
28 AC	5	Laguna	5,070	-4.15	-1.11	-1.34	-2.23	-10.76	-0.38	-0.83	-1.69
21 AC	5	Freat.	5,086	-4.27	-0.96	0.22	0.56	-5.72	0.82	0.36	-0.51
46 AC	5	Laguna	5,467	-4.15	-1.42	-0.40	0.03	-7.15	-0.03	-0.47	-1.32
22 AC	5	Pozo	6,267	-4.07	-2.05	0.54	2.01	-3.25	0.58	0.14	-0.70
50 AC	5	Laguna	6,391	-4.13	-1.85	1.03	2.95	-0.76	-0.04	-0.49	-1.36
42 AC	5	Laguna	7,078	-4.04	-2.05	1.11	3.48	-1.58	-0.36	-0.79	-1.64
20 AC	5	Laguna	7,279	-3.96	-1.51	1.49	3.92	1.05	-0.60	-1.04	-1.89
35 AC	5	Pozo	7,532	-3.90	-0.78	0.46	1.40	-10.48	-1.69	-2.14	-3.00
41 AC	5	Laguna	7,572	-4.08	-0.96	0.26	1.18	-6.11	-0.09	-0.52	-1.36
3 AC	5	Pozo	12,218	-3.52	-0.53	0.04	0.53	-4.77	1.02	0.57	-0.30
44 AC	5	Laguna	11,737	-3.50	-1.84	1.19	3.23	-2.20	-0.31	-0.75	-1.61
40 AC	5	Laguna	12,625	-3.49	-0.83	0.87	2.40	-8.23	-1.75	-2.19	-3.03
38 AC	5	Laguna	14,140	-3.37	-0.32	-0.53	-0.81	-13.49	-1.66	-2.11	-2.98
45 AC	5	Laguna	15,824	-3.22	-0.88	1.52	3.81	-4.28	-1.75	-2.20	-3.05
39 AC	5	Laguna	16,493	-3.22	-1.09	0.86	2.73	-7.73	-1.74	-2.18	-3.02
34 AC	5	Pozo	22,847	-2.95	-0.44	0.45	1.62	-4.08	0.65	0.21	-0.65
43 AC	5	Laguna	67,378	-2.00	-1.53	0.99	3.23	-4.22	-1.80	-2.24	-3.09

Tabla 4.48 (continuación)

Muestra	Grupo	Manifest.	TSS	IS Goethita	IS Hematita	IS Fe(OH) ₃	IS Fluorita	IS Pirrolusita	IS Celestita	IS Barita	IS Zn(OH) ₂
6 AC	1	Pozo	502	2.89	7.76	-2.73	-1.23	-11.23	-1.58	-0.07	-3.51
4 AC	1	Pozo	582	2.44	6.84	-3.09	-1.51	-13.39	-1.42	0.04	-3.96
8 AC	1	Dique	652	2.70	7.41	-3.23	-1.66	-6.76	-1.42	0.15	-3.43
11 AC	1	Río	756	2.71	7.43	-3.21	-1.83	-7.41	-1.66	0.48	-3.16
5 AC	1	Pozo	1,149	2.04	6.05	-3.50	-1.73	-14.45	-0.97	0.25	-4.95
7 AC	1	Pozo	1,724	2.64	7.30	-3.38	-1.55	-9.23	-0.90	0.13	-3.64
19 AC	2	Freat.	138	1.54	5.05	-4.09	-4.03	-12.64	-3.76	-1.00	-4.21
9 AC	2	Dique	150	2.77	7.54	-2.98	-2.25	-7.59	-3.08	-0.74	-2.73
10 AC	2	Superficial	999	1.04	4.05	-4.52	-0.83	-15.40	-1.68	0.62	-5.16
48 AC	3	Pozo	301	2.82	7.63	-2.96	-3.09	-10.61	-3.54	-1.40	-3.36
30 AC	3	Pozo	527	4.81	11.60	-0.85	-1.98	-10.13	-2.66	-0.61	-2.95
37 AC	3	Freat.	751	2.87	7.72	-2.79	-2.65	-9.71	-2.50	-0.53	-3.02
53 AC	3	Pozo	978	1.59	5.15	-4.09	-1.60	-15.28	-2.66	0.16	-4.68
49 AC	3	Pozo	889	2.93	7.84	-2.67	-1.03	-10.53	-2.81	-0.26	-2.87
52 AC	3	Pozo	804	1.64	5.26	-4.04	-1.57	-14.21	-2.62	0.19	-4.53
27 AC	3	Pozo	1,060	5.12	12.22	-0.51	-5.35	-10.34	-3.62	-1.11	-3.86
47 AC	3	Pozo	1,133	2.86	7.70	-2.84	-1.29	-10.33	-2.65	-0.08	-3.45
1 AC	3	Pozo	1,556	1.24	4.45	-4.33	-1.73	-14.96	-1.90	0.39	-4.66
25 AC	3	Pozo	2,754	3.78	9.56	-2.01	-0.84	-9.23	-1.86	0.13	-0.37
24 AC	3	Pozo	2,950	2.70	7.38	-2.96	-0.70	-10.95	-1.58	0.17	-3.90
31 AC	3	Pozo	3,892	2.53	7.04	-3.11	-0.87	-11.30	-1.44	0.28	-3.69
18 AC	3	Freat.	518	3.24	8.47	-2.45	-1.79	-12.27	-2.91	-0.30	-3.80
32 AC	4	Pozo	634	2.91	7.79	-2.73	-1.86	-10.88	-1.99	-0.08	-3.29
2 AC	4	Pozo	2,284	1.20	4.36	-4.38	-1.54	-15.75	-1.26	0.86	-5.14
23 AC	4	Pozo	2,531	2.81	7.61	-2.97	-1.09	-8.28	-1.61	0.12	-2.25
26 AC	4	Pozo	2,816	4.03	10.03	-1.60	-1.31	-9.15	-2.01	-0.12	-3.28
15 AC	4	Freat.	3,111	2.63	7.27	-3.34	-2.56	-8.80	-1.77	0.16	-4.21
33 AC	4	Freat.	4,187	2.28	6.53	-3.36	-1.55	-14.10	-1.37	0.51	-4.95
16 AC	5	Freat.	925	3.65	9.33	-2.31	-3.84	-10.56	-2.37	-0.36	-3.82
36 AC	5	Pozo	1,528	2.73	7.44	-2.93	-2.48	-12.42	-1.84	0.28	-3.13
17 AC	5	Freat.	1,790	2.02	6.02	-3.65	-2.88	-12.94	-2.02	0.00	-4.19
29 AC	5	Pozo	1,925	2.91	7.79	-2.74	-1.74	-9.94	-1.49	0.20	-3.08
13 AC	5	Laguna	2,655	2.47	6.96	-3.42	-5.61	-4.63	-1.25	0.34	-2.50
14 AC	5	Pozo	3,302	1.38	4.74	-4.30	-5.14	-12.68	-1.20	0.40	-4.50
51 AC	5	Laguna	3,480	4.10	10.17	-1.51	-2.23	-9.73	-1.46	0.44	-3.47
28 AC	5	Laguna	5,070	2.15	6.27	-3.48	-5.35	-14.28	-1.11	0.41	-5.06
21 AC	5	Freat.	5,086	0.92	3.82	-4.67	-4.81	-16.37	-1.16	0.74	-7.13
46 AC	5	Laguna	5,467	2.19	6.37	-3.56	-5.75	-12.07	-1.13	0.54	-3.56
22 AC	5	Pozo	6,267	3.80	9.59	-2.04	-1.12	-9.69	-1.47	0.70	-3.54
50 AC	5	Laguna	6,391	3.47	8.92	-2.13	-2.27	-6.42	-1.27	0.70	-2.79
42 AC	5	Laguna	7,078	7.82	17.63	2.00	-1.24	-6.32	-1.44	0.48	-3.22
20 AC	5	Laguna	7,279	2.00	5.98	-3.75	-6.02	-2.91	-1.01	0.59	-2.44
35 AC	5	Pozo	7,532	2.61	7.20	-3.07	-0.60	-13.44	-0.86	0.78	-5.99
41 AC	5	Laguna	7,572	2.61	7.24	-3.30	-0.73	-10.41	-0.74	0.79	-3.23
3 AC	5	Pozo	12,218	1.05	4.08	-4.60	-5.19	-14.73	-0.34	0.68	-4.68
44 AC	5	Laguna	11,737	7.90	17.79	2.14	-0.91	-6.32	-1.48	0.69	-3.36
40 AC	5	Laguna	12,625	2.79	7.57	-3.04	-1.58	-8.36	-0.65	0.84	-3.14
38 AC	5	Laguna	14,140	0.67	3.32	-4.99	-5.04	-13.34	-0.22	0.68	-7.42
45 AC	5	Laguna	15,824	2.65	7.30	-3.06	-0.23	-5.88	-0.61	0.44	-1.43
39 AC	5	Laguna	16,493	2.79	7.57	-3.04	-5.87	-8.23	-0.76	0.71	-5.61
34 AC	5	Pozo	22,847	1.75	5.48	-3.94	-5.33	-12.52	-0.31	0.10	-6.79
43 AC	5	Laguna	67,378	2.36	6.73	-3.42	-1.34	-3.93	-0.67	0.90	-1.98

Con respecto al yeso las mayores insaturaciones se alcanzan en agua de los grupos 2, 3 y 4, y las menores insaturaciones en agua de los grupos 1 y 5, donde es mayor el aporte relativo del SO_4^{2-} .

Las magnitudes de los IS de la **calcita** y la **dolomita** son bastante similares. La mayor instauración se presenta en las muestras con menor STD, especialmente en las aguas de los grupos 2 y 3, mientras que tienden a la sobresaturación las aguas de los grupos 1, 4 y 5. En

relación con la **sepiolita**, tomada en representación de la biotita, todas las aguas se presentan insaturadas.

Con respecto a los minerales que contienen **SiO₂**, el comportamiento es el siguiente: el agua de los grupos 1, 3 y 4 tiende a encontrarse sobresaturada con respecto al cuarzo, mientras que las de los grupos 2 y 5 tienden a presentarse insaturadas. Con respecto a la calcedonia, todas las aguas tienden a presentarse insaturadas, con excepción de las del grupo 3 que tienden a la sobresaturación. Con respecto al mineral SiO₂ amorfo, todas las aguas se encuentran insaturadas.

Con respecto a los minerales portadores de **Fe_{total}**, el agua se encuentra, en todos los casos, sobresaturada respecto a la goetita y la hematina, mientras permanece insaturada con respecto al Fe(OH)₃ amorfo.

En la Tabla 4.48 se observa también que permanecen insaturadas todas las aguas con respecto a los minerales fluorita, pirolusita, celestita, Zn(OH)₂ y CdSO₄. Con respecto a la barita, los estados de instauración se presentan en agua de baja mineralización de los grupos 2 y 3, mientras que el agua de los grupos restantes tiende a la sobresaturación. Se destaca además, que aunque no se presenta en esta tabla, se encontró que todas las aguas están muy insaturadas con respecto a K-feldespató, anortita y albita.

Atendiendo al **tipo de manifestación**, los valores de IS que ofrecen indicadores diferenciadores son los de los índices de saturación de la halita, la calcita, la dolomita y el cuarzo.

En general, se aprecia que las lagunas presentan los menores valores de IS con respecto a la halita (-4.7 a -2.0), mientras que las restantes manifestaciones poseen alto valor de instauración (IS en ríos y diques, oscilan entre -8.9 y -6.3; en los freáticos, entre -8.4 y -4.2, y en los pozos, entre -7.5 y -3.0).

Con respecto al yeso se presentan muchas diferencias. Los intervalos de ISY son los siguientes: pozos, -3.8 a -0.4; freáticos, -3.1 a -1.0; ríos y diques, -2.5 a -1.1, y lagunas, -2.0 a -1.0. En estas últimas se encuentra un mayor número de muestras con valor de ISY menos insaturado, esto es, con valor de IS más cercano al equilibrio químico.

En relación con la calcita las diferencias son más acentuadas: 5 de las 8 muestras captadas en freáticos están insaturadas (62.5%), y 6 de los 26 pozos muestreados, se encuentran insaturados respecto a la calcita (23.1%). En el agua superficial estas proporciones son las siguientes: una de las 4 muestras tomadas en ríos y diques se encuentra insaturada (25%), y sólo 3 de las 14 muestras captadas en las lagunas se encuentran en ese estado (21.4%). Con respecto a la dolomita las proporciones son similares a las de la calcita.

En relación con el cuarzo, se encuentra insaturada el 7.7% del agua de pozos, el 25% del agua captada en los freáticos, el 50% del agua tomada en los ríos y diques, y el 92.8% de las aguas muestreadas en las lagunas.

Los resultados del análisis del estado de equilibrio de las aguas objeto de este estudio, son en parte coherentes con los resultados obtenidos mediante la aplicación de modelos de balance de masas y mezcla de aguas, analizados en punto anterior.

Mediante dichos modelos se encontró que en los procesos de interacción agua-roca que originan la composición química de las aguas superficiales y subterráneas de las regiones Mendoza, San Luis, Trenque Lauquen, Pehuajó y otros sitios de la provincia de Buenos Aires, intervienen procesos de disolución de halita, yeso, mientras prevalecen los procesos de precipitación de calcita. En este sentido es importante destacar también la presencia de

procesos de disolución de biotita, albita, anortita y feldespato-K como sugieren los resultados de la la Tabla 4.46. En el caso de las lagunas, se encontró que se originan también procesos de precipitación de halita y ocasionalmente de dolomita.

Análisis de regresión y correlación lineal

Los métodos estadísticos basados en el análisis de correlación y regresión lineal han sido ampliamente utilizados en el manejo de datos hidrogeoquímicos, para determinar relaciones funcionales entre las variables (Machkova *et al.*, 1993) y para corroborar hipótesis relacionadas con procesos de interacción agua-roca. Esto se ha realizado aquí a pesar de las limitaciones que estos presentan, ya que en ocasiones se obtienen correlaciones significativas entre algunas variables hidroquímicas, que si bien no se sustentan sobre base científica, permiten sugerir la correspondencia de posible causa-efecto.

Existe una restricción importante para el análisis, que en el presente caso se relaciona con que los datos fisicoquímicos representan un proceso que se desarrolla en tres dimensiones y la técnica geo-estadística no incorpora ese funcionamiento.

Este método de la estadística divariada fue utilizado con el objetivo de sustentar la *hipótesis planteada* sobre el modo en que evoluciona la composición química del agua estudiada; esto es, el incremento para los sistemas intermedio y regional en su contenido de minerales disueltos desde la zona de recarga en la provincia de Mendoza (cordillera y pre-cordillera andina) hasta su descarga (parcial) en lagunas y ríos de la provincia de Buenos Aires para los primeros, y en el océano Atlántico para los últimos. Otro resultado del proceso de interacción agua-material acuífero a lo largo de ese extenso recorrido subterráneo, incluye el aporte en lagunas y ríos de flujos de tipo local con una influencia de agua superficial.

Por otro lado, mediante la aplicación del modelo de balance de masas, se demostró que en la adquisición de la composición química del agua estudiada, los principales procesos geoquímicos que participan en el proceso de intemperismo son la disolución de halita, yeso y plagioclasa, así como el de precipitación de calcita. Es por ello, que debe esperarse que se pueda obtener buena correlación matemática entre los valores de STD y CE, al menos con los iones Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y K^+ .

En la Tabla 4.49 se expone la matriz de correlación entre STD, CE y los principales iones del agua muestreada en el área de interés, como $N = 51$, la correlación es altamente significativa cuando $r > 0.36$. En la Figura 4.98 se muestra la correlación lineal entre STD con los iones Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y K^+ .

Como se aprecia en la matriz de la Tabla 4.49 la correlación más significativa ($r > 0.80$) se obtienen entre STD, CE y los iones Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y K^+ , por lo que estos resultados son coherentes con las hipótesis establecidas anteriormente.

Tabla 4.49 Matriz de correlación de iones mayores y otros parámetros geoquímicos.

N=48	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	CE	STD
HCO_3^-	1	0.31	0.29	-0.30	-0.01	0.34	0.30	0.30	0.36
Cl^-		1	0.98	0.20	0.44	0.98	0.83	0.95	0.98
SO_4^{2-}			1	0.15	0.35	0.97	0.81	0.93	0.97
Ca^{2+}				1	0.70	0.16	0.20	0.25	0.16
Mg^{2+}					1	0.45	0.59	0.57	0.40
Na^+						1	0.98	0.98	0.99
K^+							1	0.91	0.72
CE								1	0.95
STD									1

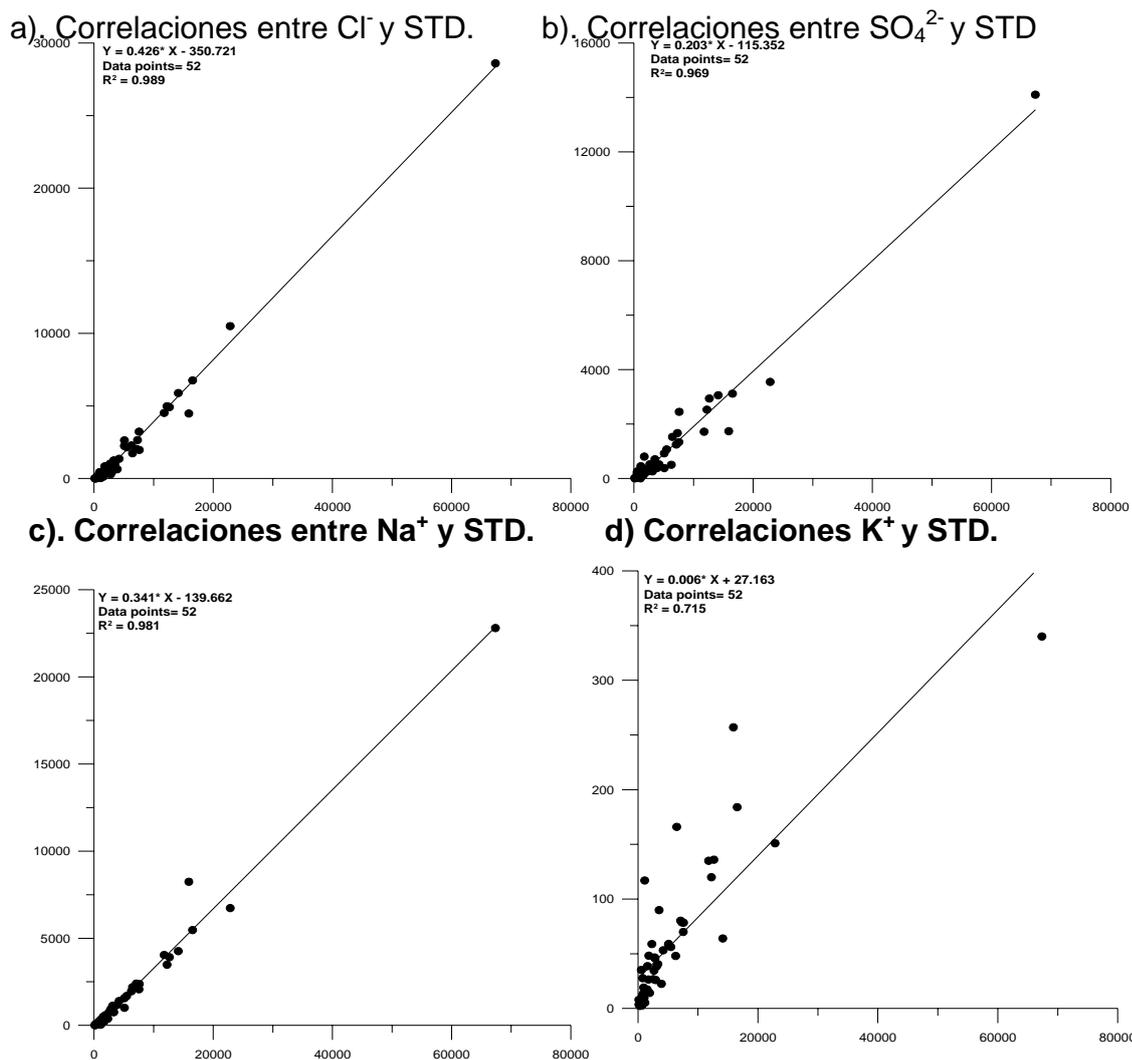


Figura 4.98 Correlación matemática a) Cl^- y TDS, b) SO_4^{2-} y TDS c). Na^+ y TDS, d) K^+ y TDS

La carencia de correlación encontrada entre STD y CE, con los iones HCO_3^- , Ca^{2+} y Mg^{2+} sugiere que los minerales que originan a los mismos (calcita, biotita), contribuyen poco a la ganancia iónica en el proceso de intemperismo o que éste produce precipitación de dichos iones. El modelo de balance de masas y mezcla de aguas explica que en muchos casos, principalmente en las lagunas, se produzca una apreciable precipitación de calcita, y en ocasiones, también de halita y dolomita.

Variación temporal de la composición química de las lagunas

A partir de la información obtenida en Internet sobre las lagunas Las Tunas e Hinojo Grande en Trenque Lauquen (Colautti *et al.* 1998, Colautti *et al.*, 1999; Remes Lemicov y Colautti, 2004; Berasain y Argemi, 2007a), Laguna Cochicó en Guaminí (Berasain *et al.*, 2000; Berasain *et al.*, 2001; Remes Lemicov *et al.*, 2002; Berasain y Argemi, 2006), laguna Gómez en Junín (Berasain *et al.*, 2001; Berasain y Remes Lemicov, 2005; Berasain y Argemi, 2006), se procesaron datos hidrogeoquímicos de la laguna Las Tunas correspondientes al intervalo 1998-2004, y de las lagunas Cochicó y Gómez, para 2000-2003 y 2000-2004, respectivamente. Estos datos fueron complementados con el muestreo realizado en el año 2007 dentro del contexto de esta tesis. Los resultados de esta compilación se muestran en las tablas 4.54a y 4.54b.

Tabla 4.50a Variación temporal físico-química de las lagunas Gómez y Tunas

LAGUNA	GÓMEZ	GÓMEZ	GÓMEZ	GÓMEZ	L. TUNAS	L. TUNAS	L. TUNAS	L. TUNAS	L. TUNAS
Fecha	9/9/2000	9/3/2002	1/20/2004	3/28/2007	1/28/1998	1/29/1999	12/28/2000	3/30/2004	3/25/2007
T (°C)	17.0	17.0	17.0	17.00	17.0	17.0	17.0	17.0	23.00
pH	8.94	8.70	8.65	9.20	8.18	8.62	7.04	8.15	8.31
CE (µS/cm)	7,090	1,950	3,970	9,370	30,000	28,300	19,240	14,100	22,900
HCO ₃ (meq/l)	16.10	8.00	14.00	12.40	7.60	5.32	7.00	7.30	9.83
CO ₃ (meq/l)	3.60	1.80	3.40	0.00	0.00	2.21	0.00	1.40	0.00
Cl (meq/l)	44.10	8.40	19.30	49.01	249.00	252.00	138.50	113.50	190.42
SO ₄ (meq/l)	17.00	4.40	6.10	31.88	79.00	80.10	47.50	20.60	65.00
Ca (meq/l)	0.70	0.80	1.00	0.66	8.00	7.10	30.00	3.90	3.50
Mg (meq/l)	5.20	2.20	2.50	4.53	35.00	24.00	18.00	13.50	27.25
Na (meq/l)	68.00	18.90	36.50	95.22	295.00	304.00	149.00	116.00	237.83
K (meq/l)	1.60	0.70	0.00	4.26	6.30	7.20	3.40	3.70	4.72
STD (mg/l)	5,136	1,556	2,823	6,450	20,706	20,884	11,999	8,558	16,531

La *laguna Gómez* presenta un mínimo de salinidad en el 2002 (STD 1,556mg/l) y una tendencia al incremento de la misma hasta el año 2007 (6,450mg/l).

La *laguna Las Tunas* aumentó su nivel hídrico a partir del año 2000, año en que se propició una disminución de salinidad del agua hasta un mínimo (STD 8,558mg/l) en el año 2004 en que alcanzó el valor más bajo de salinidad, tendiendo de nuevo a su aumento hasta el 2007 (STD 16,531mg/l).

En el caso de la *laguna Cochicó*, se aprecia también una disminución del contenido de STD desde el año 2000 al 2002 en que presenta valores mínimos (4,195mg/l), alcanzando los valores más elevados en el año 2007 (STD 7,099mg/l).

De manera general, se puede establecer que en las lagunas de referencia se observa una disminución progresiva de la concentración de STD desde el año 2000 hasta el 2002 y con posterioridad a ese año el agua ha incrementado su salinidad hasta la fecha en que se hizo el muestreo de esta tesis. Sin embargo, los cambios no se producen en forma directa a las precipitaciones acaecidas (punto 4.1.2, resultados clima y posiblemente), muy posiblemente estas variaciones en salinidad se vinculan más estrechamente con las variaciones observadas en las imágenes satelitales atribuibles a aportes de agua subterránea (punto 4.2.3)

La oscilación de eventos húmedos y secos en el noroeste de La Provincia de Buenos Aires se ha sucedido alternativamente a lo largo del tiempo, provocando ocasionalmente, inundación y sequía que afectan sensiblemente la economía de la provincia. En la década de los 1960's ocurrió una gran sequía (Punto 4.1) que originó un descenso del nivel de las lagunas de la Cuenca de las Encadenadas (Miranda, 2003). En las lagunas del Monte y Cochicó se produjeron grandes pérdidas en la pesca comercial, mientras que en el lago Epecuén, en Carhué, donde existía una sólida infraestructura turística (hoteles de alta categoría, balnearios, residencias privadas), los bañistas se vieron en la necesidad de trasladarse al centro del lago en busca de agua mineromedicinal.

Con el fin de evitar los daños económicos provocados por la sequía, en el año 1965 se construyó un canal que permitía el trasvase de agua desde la Cuenca del arroyo Vallimanca hasta la Cuenca de las Encadenadas (Miranda, 2003). Sin embargo, éste junto con otras obras de ingeniería civil, originó el cambio en la dinámica de la circulación, infiltración y evaporación

del agua de las lagunas. A fines del año 1985, (Punto 4.1) el aumento del nivel de lluvia provocó la inundación de un 50% de la Villa Turística de Epecuén, provocando una gran tragedia a la población que debió ser evacuada, y la destrucción de prácticamente toda la estructura turística (Figura 4.93).

Tabla 4.50b Variación temporal físico química de laguna Cochicó

Fecha	29/02/2000	11/2/2001	1/11/2002	1/10/2003	3/27/2007
T (°C)	ND	ND	17.0	17.0	23.00
pH	8.94	8.7	8.97	8.93	9.07
CE (µS/cm)	7,090	7,015	4,970	5,000	9,750
HCO ₃ (meq/l)	16.1	15.1	12.00	24.60	20.09
CO ₃ (meq/l)	3.6	2.4	5.40	6.70	000
Cl (meq/l)	44.1	34.9	25.40	31.30	57.46
SO ₄ (meq/l)	0	15.3	12.50	14.30	26.04
Ca (meq/l)	0.7	0.9	0.40	0.30	0.60
Mg (meq/l)	5.2	0.5	4.00	5.40	7.63
Na (meq/l)	68	68	49.00	69.10	104.35
K (meq/l)	1.6	1.4	1.00	1.20	2.06
STD (mg/l)	4,838	4,609	4,195	5,206	7,099

Anomalías y asociaciones geoquímicas

La concentración de un elemento químico en el agua no depende de su abundancia en la roca por donde ésta circula, sino también en la capacidad del agua de disolver los minerales constitutivos de dicha roca en el proceso de intemperismo. En el caso de los *elementos traza*, juega un importante papel el *radio iónico* de los mismos, ya que cuando éste es similar en tamaño al de un componente mayoritario, puede sustituir al mismo en la red cristalina y pasar al agua en mayor proporción que otro ión cuyo radio iónico es desigual. Por esa razón, el Sr²⁺ acompaña al Ca²⁺ en muchos minerales y en ocasiones se hace evidente en rocas de origen sedimentario, mientras que el Ba²⁺ no sustituye al Ca²⁺, pero sí al K⁺ (Rankama y Sackema, 1962). Por último, tanto el Sr²⁺ como el Ba²⁺ pueden sustituir al K⁺ ya que el radio de éste está comprendido entre los dos iones mencionados.

En general existen *asociaciones geoquímicas que originan anomalías*, y en muchos casos encuentran aplicación en la prospección de yacimientos minerales. En los sulfuros metálicos (pirita, calcopirita, etc.) es común tener asociaciones del tipo: Cu²⁺, Zn²⁺, Mo³⁺, Ag¹⁺, Pb⁴⁺, Se²⁺, As³⁺ y Cd²⁺.

Las anomalías y las correspondientes asociaciones geoquímicas por tipo de agua, se definen tomando como indicador la concentración media de cada elemento (Tabla 4.51), considerándose anomalía las concentraciones superiores a dichos valores.

A partir de la información la Tabla D1 en Anexo D, y en forma gráfica, en las Figura 4.97a-e, se pueden definir las siguientes regularidades:

- *Grupo 1*, constituido principalmente por agua de facies hidroquímica sulfatada-clorurada-sódica de mediana mineralización (STD de 505 a 1,733mg/l), presenta como principal anomalía hidroquímica los iones mayoritarios SO₄²⁻ y Ca²⁺, y los elementos minoritario Sr²⁺, Sc³⁺, y Eu³⁺.
- *Grupo 2*, agua bicarbonatada-clorurada-cálcica-sódica de baja mineralización (STD entre 141 y 1,003mg/l) levemente presenta valor anómalo, a excepción del Eu³⁺.

- **Grupo 3**, fundamentalmente de tipo bicarbonatada-sódica, con STD entre 531 y 6,274mg/l, posee los siguientes componentes en cantidad anómala: HCO_3^- , Si^{4+} , Sn^{4+} , V^{5+} , Sc^{3+} , Ge^{4+} , y Hg^{2+} .
- **Grupo 4**, agua clorurada-bicarbonatada-sódica, con STD comprendidos entre 531 y 6,274mg/l, presenta como principal anomalía geoquímica al: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , F^- , Br^{2+} V^{5+} .
- **Grupo 5**, agua clorurada-sódica y clorurada-sulfatada-sódica, con relativo alto contenido de STD (entre 930 y 67,356mg/l), esta agua posee el mayor número de componentes con valor anómalo. Entre ellos: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , F^- , Br^- , I^- , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{5+} , Co^{2+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Pd^{4+} , Rb^+ , Sb^{3+} , Cs^+ y metales de tierras raras (La^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+} y Er^{3+}).

Tabla 4.51 Indicadores de anomalía geoquímica a partir del valor medio (en mg/l) del componente mayoritario y minoritario del agua del agua estudiada

Componente	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	F^-	Br^-	I^-	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	As_{TOTAL}
Valor medio	400.0	250.0	500.0	1.0	1.2	0.5	5.00	0.50	0.6039	0.060
Componente	Li	Cu	Na	K	Mg	Ca	Sr	Mn	Ba	Zn
Valor medio	0.050	0.010	400.0	25.0	50.0	100.0	1.00	0.05	0.06	0.03
Componente	Cd	Cr	Co	Sn	Fe	Ni	Si	Zr	Al	Ti
Valor medio	0.00008	0.0020	0.00020	0.00005	0.000029	0.10	20.0	0.0005	0.02	0.0064
Componente	V	Mo	W	Sc	Ga	Ge	Se	Pd	Rb	Y
Valor medio	0.095	0.030	0.00070	0.00265	0.00004	0.00005	0.003	0.00050	0.020	0.00008
Componente	Sb	Cs	Hg	Tl	Pb	Th	U	Ce	Re	La
Valor medio	0.00030	0.00006	0.000203	0.00002	0.0008	0.000007	0.02	0.000116	0.00010	0.00005
Componente	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er			
Valor medio	0.00001	0.00004	0.000019	0.000002	0.000010	0.00001	0.000007			

Se estima que los valores anómalos altos, se deben a procesos de disolución a través del recorrido subterráneo y las anomalías negativas (valores bajos), a los procesos de precipitación por evaporación en las lagunas, debido a que algunos componentes minoritarios acompañan a los iones mayores en ese proceso. Se destaca, que este criterio puede ser usado en forma complementaria en la identificación del agua subterránea con características de flujo local, flujo intermedio, así como procesos de evaporación.

Composición de los componentes minoritarios

Los componentes presentes en el agua natural en concentración menor a un mg/l, esto es, en el orden de $\mu\text{g/l}$ y ng/l , puede originarse durante procesos de intemperismo del material geológico, o bien como consecuencia de la actividad de microorganismos en la hidrosfera, o por la actividad humana, siendo algunos, como el Se^{2+} y Mo^{3+} , esenciales en cantidades de traza en los sistemas biológicos (Drever, 1988).

En los procesos de intemperismo, los componentes minoritarios, que están alojados como huéspedes en la red cristalina de los minerales (reemplazo de cationes principales por minoritarios por radios iónicos semejantes), pasan al agua en mayor o menor concentración dependiendo de su solubilidad relativa. En ocasiones, la determinación de pequeñas concentraciones de tales elementos en el agua brinda una información valiosa en relación con la presencia de los minerales portadores de los mismos, y permite su utilización como herramienta geoquímica en la prospección de yacimientos minerales.

En la Tabla 4.52 se ilustran los resultados de la determinación de componentes minoritarios realizada en las localidades de interés, y se presentan como referencia las correspondientes concentraciones, reportadas por Drever (1988) para diferentes rocas (granito, basalto, pizarra, arenisca, caliza) y agua de mar. Como puede apreciarse en la tabla referida, la mayor parte de los elementos (F^- , Br^- , I^- , As^{3+} , Si^{4+} , Sr^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{2+} , Zn^{2+} , Zr^{2+} , Al^{3+} , Mo^{3+} , V^{5+} , W^{3+} , Ga^{3+} , Pd^{4+} , Rb^+ , Cs^+ , Re^{2+} , Th^{4+} , Y^{3+}) tienden a incrementarse desde la zona de recarga de cualquier flujo a la descarga. Algunos componentes, sin embargo, poseen mayor concentración

en pozos ubicados, en Mendoza o Buenos Aires (Si^{4+} , Ge^{2+} , Se^{2+} , Ti^{2+} , Hg^{2+} , Sc^{3+}) y sólo unos pocos (Mn^{2+} , Co^{2+} , Pb^{4+}) presentan mayor concentración en el agua superficial o de freáticos.

Tabla 4.52 Comparación de concentración típica de componentes minoritarios en roca (mg/kg) y agua de mar ($\mu\text{g/l}$) con datos de agua del área de estudio ($\mu\text{g/l}$)

	Granito (*)	Basalto (*)	Pizarra (*)	Arenisca (*)	Caliza (*)	Agua de mar (*)	Pozos Mendoza	San Luis (río y dique)	Río Quinto	Otros pozos	Freat. Buenos Aires	Laguna
F	800	400	740	270	330	1,300	470	385	420	1,430	250	1,700
Br	4	4	4	1	6	67,300	60	180	350	4,049	2,075	11,310
I	0.5	0.5	2	1	1	64	130	209	300	570	155	650
As	2	2	13	1	1	64	12	5.87	10.2	70	9.97	108.5
Si	Alta	Alta	Alta	Alta	SD	10,000	21,380	14,100	14,100	27,130	13,128	2,550
Li	30	17	66	15	5	170	60.0	23.0	39.0	39.1	15.9	35.2
Sr	250	465	300	20	20	8,100	1,552	385	650	1,822	895	2,674
Ba	600	330	580	SD	10	10	20.8	48.4	80.4	72.6	52.6	65.7
Fe	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	2	0.001	0.001	0.001	0.009	0.004	28.6
Mn	450	1,500	850	50	1,100	0.2	1.5	10.8	20.2	17.0	42.4	26.3
Ni	10	130	68	2	20	0.5	3.7	2.7	4.7	47.9	17.1	376.1
Co	4	48	19	0.3	0.1	0.05	0.005	0.028	0.033	0.06	0.16	0.29
Cu	20	87	45	2	4	0.5	0.95	2.5	2.0	10.9	4.83	14.6
Cd	0.13	0.2	0.3	SD	0.03	0.05	0.0025	0.016	0.030	0.007	0.032	0.015
Cr	10	170	90	35	11	0.2	0.55	0.100	0.100	19.5	20.5	40.1
Zn	50	105	95	16	20	2	4.3	3.5	4.5	50.8	17.5	37.1
Sn	16	149	SD	SD	SD	0.01	0.01	0.010	0.010	0.06	0.010	0.03
Zr	150	140	160	220	20	0.03	0.01	0.006	0.001	0.10	0.130	1.48
Al	Alta	Alta	Alta	Alta	4,200	1	5.8	10.0	10.0	15.2	43.1	54.8
Ti	Alta	Alta	Alta	Alta	400	SD	2.7	1.9	3.7	6.4	4.7	10.0
Mo	1	1.5	2.6	0.2	0.4	10	6.6	3.4	5.4	27.4	3.4	64.0
V	50	250	130	20	20	2	6.0	11.1	21.6	167.1	46.3	52.8
W	1.7	0.7	1.8	1.6	0.6	<0.001	0.3	0.18	0.30	0.6	0.133	1.4
Ga	17	17	19	12	4	0.03	0.03	0.001	0.001	0.01	0.026	0.09
Ge	1	1	2	1	0.2	0.06	0.14	0.041	0.080	0.05	0.019	0.03
Se	0.05	0.05	0.6	0.05	0.09	0.1	1.9	2.0	3.6	2.7	0.771	0.1
Pd	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0.02	0.015	0.020	0.37	0.123	1.09
Rb	150	130	140	60	3	120	9.5	4.3	6.3	12.8	20.7	37.5
Sb	0.2	0.1	1	0.4	0.3	0.3	0.15	0.085	0.070	0.16	0.13	0.73
Cs	3	1	6	6	6	0.3	0.06	0.010	0.012	0.05	0.036	0.09
Re	SD	SD	SD	SD	SD	SD	0.03	0.012	0.020	0.10	0.106	0.16
Tl	1.5	0.2	1.4	0.8	SD	<0.01	0.006	0.005	0.006	0.022	0.016	0.002
Hg	0.03	0.01	0.4	0.03	0.04	0.03	0.06	0.010	0.010	0.27	0.261	0.07
Pb	17	6	20	7	9	0.03	0.16	0.080	0.070	0.53	1.856	0.78
Th	14	2.5	12	5.5	2	<0.0005	0.001	0.002	0.002	0.001	0.003	0.021
U	3	1	4	2	2	3.3	5.7	2.9	4.8	27.7	7.9	25.2
Sc	10	30	13	1	1	0.0004	4.0	3.0	6.0	4.0	1.5	0.4
Y	40	25	35	10	4	0.001	0.06	0.021	0.024	0.03	0.078	0.17
TR	5-70	1-80	1-80	0.05-15	0.05-8	0.001	0.09	0.098	0.131	0.12	0.392	0.53

TR = Tierras raras; SD = sin dato; (*) Drever, 1988. Otros pozos: Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares.

Al analizar los resultados de la Tabla 4.52, en especial al comparar el agua de los pozos de Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares "otros pozos", con aquella de muestras de agua superficial y sub-superficial (río, dique y freáticos) se observa que tiene mayor contenido en sales el agua de estos pozos, excepto por los elementos Mn^{2+} , Co^{2+} , Zr^{4+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Ga^{3+} , Rb^{+} , Pb^{4+} , Th^{3+} , Y^{3+} , y tierras raras.

Al comparar la composición química del agua superficial y sub-superficial con el agua de las lagunas, éstas últimas muestran mayor salinidad y similitud con el agua de los “otros pozos”, la diferencia observada es en los elementos Si^{4+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ti^{4+} , Ge^{4+} , Se^{2+} , Tl^{2+} , Pb^{4+} y Sc^{3+} . Al comparar el agua de los “otros pozos” con las de las lagunas, estas últimas muestran mayor salinidad, excepto en los elementos Si^{4+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} , Sn^{4+} , V^{5+} , Ge^{4+} , Se^{2+} , Tl^{2+} , Hg^{2+} , U^{3+} , y Sc^{3+} .

Lo anterior parece sugerir posible el hecho de que el agua de las lagunas no tiene un aporte importante de agua superficial. Asimismo, el agua de los “otros pozos” de Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares, no origina el agua de las lagunas de Buenos Aires al igual que no lo hacen las aguas de pozo de Mendoza, debido a que estos muestran un contenido de Li^+ que sobrepasa al de las lagunas, esto se concluye ya que el Li^+ es conservativo y no se espera que salga de solución durante procesos de precipitación de minerales. Así, si el agua de las lagunas si fuera agua evaporada proveniente de Mendoza tendría más Li^+ que el presente en los pozos de Mendoza, ya que éste no se precipita ni entra en reacción y tiende a permanecer en solución. Igualmente, el Li^+ de los pozos medidos en la provincia de Buenos Aires, indica que no ha dado origen a las lagunas analizadas. El flujo regional que se genera en Mendoza, no es detectado en la provincia de Buenos Aires ni por calidad ni temperatura, pudiendo viajar hasta la zona de descarga más allá de la costa de Buenos Aires. En territorios topográficamente más bajos se desarrollan flujos intermedios que se considera descargan en lagunas de la provincia de Buenos Aires.

Abundancia relativa de metales de tierras raras

El grupo de metales de tierras raras comprende el escandio (Sc), el itrio (Y) y los lantánidos. Los elementos de la serie de los lantánidos son aquellos que se encuentran comprendidos en la tabla periódica de Medeleiev entre el lantano y el lutecio (número atómico $Z= 57$ y número atómico $Z= 71$): lantano (La), cerio, (Ce), prasceodimio (Pr), neodimio (Nd), promecio (Pm), samario (Sm), europio(Eu), gadolinio(Gd), terbio(Tb), disprosio(Dy), holmio (Ho), erbio(Er), tulio (Tm), yterbio(Yb), y lutecio(Lu) (todos con valencia +3).

El La y el Y son componentes muy comunes en rocas y minerales, aunque se encuentran en pequeña concentración, por lo general suelen acompañar al Sc. El Yb y los lantánidos tienen gran afinidad con el fósforo y el flúor.

Es poca la abundancia de tierras raras en rocas ígneas, tienden a concentrarse más en sedimentos arcillosos. El Sc y lantánidos han sido apreciados en mayor proporción en los minerales constitutivos del granito y también en rocas ultrabásicas como la piroxenita (Rankama y Sachema, 1962).

De acuerdo con sus propiedades químicas los lantánidos se dividen en dos subgrupos:

- Metales de las tierras del cerio: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu.
- Metales de las tierras del itrio: Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y.

Dependiendo de la abundancia relativa de los metales de las tierras raras del Ce o del Y, éstas han sido clasificadas por Goldschmidt y Tomson (Rankama y Sachema, 1962) en diferente tipo. Así, se han dividido los minerales que contienen tierras en seis tipos: apatítico, ytrofluórico, monacítico, thalenítico, thortveitítico y xenotímico.

En el tipo apatítico predominan las tierras del Ce y sus relaciones de abundancia son: $\text{Ce} \geq \text{Nd} > \text{Sm} \geq \text{Gd} \geq \text{Dy} > \text{Er} \geq \text{Yb}$ (es típico del mineral apatito). En el tipo ytrofluórico son predominantes

las tierras de Y tienen una abundancia similar a las del Ce. La relación de abundancia de los elementos es: $Ce = Nd$ y $Nd \approx Sm \approx Gd$.

Las tierras raras de tipo monacítico se caracterizan por el predominio de tierras de Ce, donde se destacan los metales que se extienden desde el La hasta el Sm, y por la presencia de un contenido apreciable de Gd. En ocasiones también aparecen pequeñas cantidades de componentes de las tierras de Y. En este tipo la relación de abundancia es de tipo: $Ce > Nd > Sm \geq Gd$.

En general, se destacan dos tipos de asociación, la *completa* en la que predominan los metales de tierras raras del Ce o Y, y la *selectiva*, que comprende en forma predominante los componentes de ambas series.

En la Figura 4.99 se muestra la abundancia relativa de los principales metales de tierras raras en las aguas muestreadas en la área de interés. En general, en estas muestras, tienden a aparecer con abundancia relativa algo superior, las tierras del Ce con respecto a las tierras del Y.

- En el agua captada en los *pozos en la provincia de Mendoza*, la relación de abundancia es la siguiente: $Ce > La > Nd > Gd > Sm = Pr > Dy > Eu > Er > Yb > Tb > Ho > Tm$. En los restantes pozos, la secuencia de abundancias relativas es: $La > Ce > Nd > Ho > Sm > Dy > Gd = Pr > Yb > Er > Tb > Eu > Tm$.
- El agua de *tipo superficial y sub-superficial* (ríos, diques, freáticos), muestra la abundancia relativa siguiente: $Ce > Nd > La > Sm > Gd > Pr > Dy > Er > Yb > Eu > Ho > Tb > Tm$, lo que les infiere un origen de tipo apatítico. Las *lagunas* presentan el siguiente orden de abundancia: $Ce > La > Nd > Sm > Dy > Gd > Pr > Er > Ho > Yb > Tb > Tm > Eu$.
- Por último, el promedio de todas las aguas da una secuencia del tipo: $Ce > La > Nd > Sm > Dy > Gd > Pr > Er > Ho > Yb > Eu > Tb > Tm$.

La similitud de los contenidos en lagunas con el promedio de todas las aguas muestreadas, sugiere que el agua de las lagunas es una mezcla homogénea de dichas aguas de la región, y en consecuencia, no es agua de lluvia evaporada, o lo que es lo mismo las **lagunas son zonas de descarga de flujos intermedios, flujos locales, agua de lluvia, posiblemente en este orden.**

De los resultados anteriores, se infiere que la secuencia de abundancia relativa de los lantánidos, en el agua estudiada, tiende a parecerse a una asociación selectiva del tipo monacítico, la cual es típica de los minerales monacita y fluocerita presentes en pegmatitas graníticas (Rankama y Sackema, 1962); y consecuentemente en arcillas originadas por intemperismo de rocas con esos minerales. Esto parece sugerir que los lantánidos identificados pueden corresponder con aquellos que se pudieran encontrar en rocas de las partes altas vecinas, y en particular con aquellos que corresponden con la roca basal de la columna sedimentaria de la provincia de Buenos Aires (Tabla 2.1). Sin embargo, se carece de una referencia sobre la presencia de estos minerales en el terreno (tierras raras en la estructura basal).

En la Tabla 4.53 se presentan las relaciones entre algunos metales de tierras raras con el objetivo de evaluar la abundancia relativa de los tipos de tierras raras en diferente manifestación. Se seleccionaron las relaciones Yb/Gd y Nd/Ce, que representan tierras de itrio y de cerio respectivamente, y la relación $(Nd/Ce)/(Yb/Gd)$.

Los resultados demuestran que el agua de los pozos hacia la zona de recarga de flujos intermedio y regional en la provincia de Mendoza presenta un menor contenido de tierras para

la relación Yb/Gd en comparación con Nd/Ce, y que esta última es superior en los pozos de Mendoza (3.43), decreciendo marcadamente su relación en el agua de las manifestaciones restantes. La relación Yb/Gd así como la Nd/Ce no difiere marcadamente en el resto de los sitios y manifestaciones, sólo los freáticos de Buenos Aires, presentan un valor que difiere en más (0.1338 y 0.7021 respectivamente) Por lo que se aprecia que el agua de las lagunas se asemeja más al agua de los pozos que de los freáticos.

Los menores valores de la relación Nd/Ce/ Yb/Gd, se dan en ríos, diques de Mendoza y San Luis, y en los freáticos, por lo que habría semejanza en esta relación en estas manifestaciones. Esta última relación es semejante en los pozos de las tres provincias analizadas, y en las lagunas (todas) (valores entre 8-10). Sin embargo, si se discriminan lagunas salinas, de las poco salinas, estas últimas presentan una relación mucho mayor (19.06). Se aprecia entonces, que las lagunas muy salinas no se relacionarían con los pozos de Buenos Aires, ni con los de otros sitios, sin embargo, las lagunas menos salinas, si presentarían relación con los pozos, pero no con los freáticos Se destaca que tanto los iones minoritarios como los lantánicos tienden a disminuir en algunas lagunas por efecto de la precipitación por evaporación.

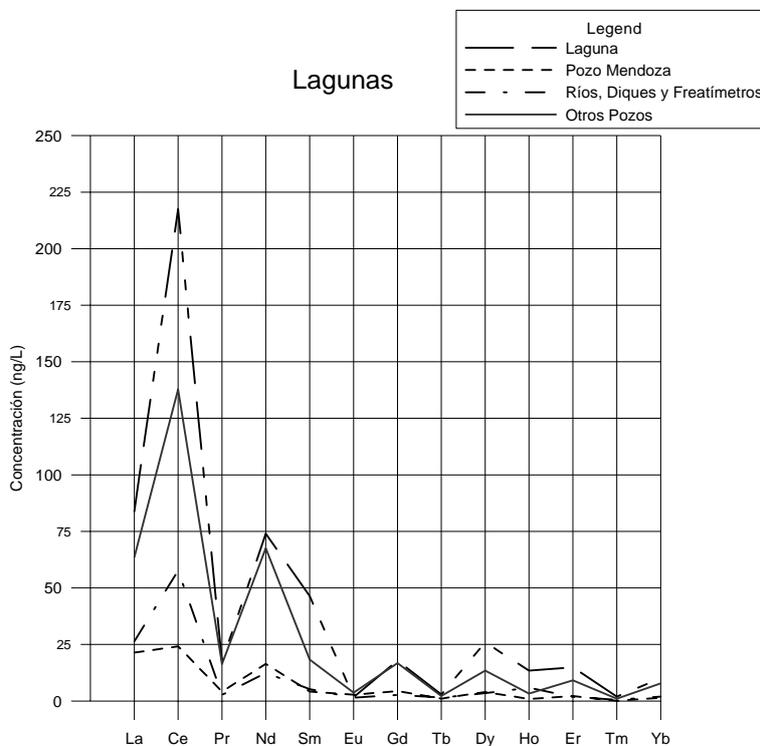


Figura 4.99 Abundancia relativa de principales metales de tierras raras en el agua muestreada

Tabla 4.53 Relaciones de metales de tierras raras en diferente manifestación.

	Manifestación	Yb/Gd	Nd/Ce	(Nd/Ce)/(Yb/Gd)
Mendoza	pozos	0.3253	3.4340	10.5556
San Luis	pozos	0.0466	0.4348	9.3333
Buenos Aires	Pozos *	0.0584	0.4930	10.0056
Mendoza y San Luis	Ríos, Diques	0.0912	0.4995	5.9222
Buenos Aires	freáticos	0.1338	0.7021	6.1336
Buenos Aires	Lagunas poco salinas (1)	0.0450	0.3734	19.0608
Buenos Aires	Lagunas salinas (2)	0.0740	0.3678	8.0370
Buenos Aires	Lagunas Todas (3)	0.0667	0.3692	10.7930

(1) 13, 50 y 51; (2) 28, 40, 38, 39, 46, 20, 45, 41, 42, 44, 43.; (3) sin 28 y 40 debido a valores dudosos

(*) Trenque Lauquen, Pehuajó, Carlos Casares

Por tanto, sobre la base de estas relaciones de lantánidos, se podría interpretar que el agua de las lagunas tiende más a parecerse al agua de los pozos, y menos a la de freáticos, y marcadamente diferente con el agua de la zona de recarga del flujo regional Mendoza, lo cual es coherente con los resultados del modelo de mezcla de agua que indican un mayor aporte del flujo intermedio que regional a las lagunas.

Así, puede inferirse que en el proceso de mezcla de aguas que origina la composición química del agua de las lagunas, el aporte del flujo de agua subterránea de tipo intermedio es superior al de carácter más regional. Esta consideración se corresponde con el resultado obtenido aplicando un modelo de mezcla de aguas (Tablas 4.51f). En dichas tablas se observa que el aporte del flujo regional a la mezcla observada en las lagunas varía por lo general, entre 0.05% y 11.9%, exceptuando el Lago Carhué en donde el valor de 45.6% representa el porcentaje de mezcla.

Al tomarse como uno de los miembros extremos una muestra del sistema regional con muy alta salinidad (127,000mg/l), condujo a que las mezclas teóricas realizadas entre diversas proporciones del agua de las muestras AC33 y la BA73, revelen escaso aporte del flujo regional en las muestras de agua colectadas en las lagunas. Sin embargo, si se considerara que el grupo extremo de mezcla tuviera una salinidad menor, tal como ocurriría si fuese el aporte de un sistema de flujo intermedio, esto redundaría entonces, en una mezcla que efectivamente muestre una mayor participación del flujo ascendente (flujo intermedio).

Análisis isotópico

La composición de isótopos estables del agua puede ser usada para caracterizar diferentes tipos de fuentes e identificar el origen de la recarga de un sistema de flujo determinado (Kalin y Long, 1994). Esto se produce porque al cambiar el agua su estado físico por *evaporación* o condensación tiene lugar un fraccionamiento isotópico que origina que una fase se enriquezca más en componentes isotópicos más pesados (fase líquida en isótopos más pesados, D y ^{18}O), mientras que la otra se enriquece en los componente isotópico más ligero (fase vapor se enriquece en isótopos más ligeros, H y ^{16}O). El vapor de agua producido por evaporación oceánica presenta una disminución de alrededor de 12-15‰ en ^{18}O y 80-120‰ en Deuterio (D) con respecto al agua oceánica.

El fraccionamiento es particularmente dependiente de la *temperatura*. A temperatura más baja, menor es la concentración de isótopos pesados. Este efecto se produce también por diferencia con respecto a la latitud, de modo que existe correlación entre la variación de la composición isotópica con la *latitud* y *altura* de la superficie de la tierra. Así, la precipitación en alta montaña posee menos isótopos pesados que la precipitación en tierras bajas. Este fraccionamiento también tiene que ver con el tipo de clima en que se produjo la precipitación, esto es para agua subterránea antigua, debe tomarse en cuenta que las condiciones en que ocurrió dicha precipitación pueden haber sido diferentes a las actuales, y consecuentemente, debe interpretarse considerando el efecto de cambio de clima.

El análisis de la relación isotópica en la precipitación a nivel planeta muestra una correlación lineal del tipo: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (‰) (Mook, 2001). Esta ecuación que describe una línea recta es conocida como *Línea de Agua Meteórica Global* (GMWL, por sus siglas en inglés). En agua sujeta a evaporación ocurre una reducción de la pendiente, lo que es común observar si un agua permanece un tiempo sobre la superficie terrestre y luego se infiltra e incorpora a un sistema de flujo.

Cuando la precipitación se infiltra y alimenta el agua subterránea, la mezcla en la zona no saturada suaviza la variación isotópica, así el agua adquiere una composición que corresponde usualmente con la composición *isotópica media* de la infiltración en la localidad, característica

que es más clara en material granular que permite dicha mezcla (el caso contrario sucede en rocas fracturadas donde usualmente la precipitación puede penetrar usualmente en forma directa como resultado, por ejemplo de una tormenta). En el subsuelo, la composición isotópica del agua no sufre un cambio ulterior a menos que se realice un proceso de intercambio con el oxígeno de las rocas por donde circula el agua. Los procesos de intercambio son por lo general muy pequeños a la temperatura que le imprime el gradiente geotérmico al agua subterránea y son, sin embargo, notables en el caso de la presencia de agua termal (Craig, 1961).

En estudios para modelar un sistema de flujo sobre la recarga al agua subterránea, como se comentó precedentemente, la composición isotópica del agua se relaciona con la de la precipitación (promedio) definida para la zona de recarga en el tiempo en que ésta ocurre (Kalin y Long, 1994).

En el caso de un lago o embalse el agua puede encontrarse considerablemente enriquecida en isótopos pesados debido al proceso de evaporación. Este enriquecimiento puede estar limitado por el intercambio con la humedad atmosférica, de modo que su magnitud es mayor cuando la evaporación es más intensa, tal como ocurre en los lagos salados en regiones áridas como son en cierta forma los cuerpos de agua muestreados para esta tesis.

En las Tabla 4.54a-d se presenta la relación entre los valores $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $\delta\text{D}/\text{H}$ correspondientes al agua muestreada (columnas 1 y 2). La columna 3 corresponden a la relación entre los datos de la columna 2 entre la columna 1. Los valores de la magnitud $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}$ (columna 4) es la relación isotópica del agua meteórica media mundial, tomada de la Línea de Agua Meteórica Global (GMWL), cuya ecuación de la línea recta es GMWL: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (**Figura 4.100**), tomándose como variable independiente el valor de $\delta^{18}\text{O}$ de cada muestra, los cuales aparecen en las mismas tablas. Esta magnitud representa el valor aproximado que debería tomar la relación isotópica $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ si no hubiera habido fraccionamiento isotópico por evaporación.

En la **Figura 4.100** se tiene una gráfica de correlación entre estos valores, donde se toma como referencia la GMWL. En la columna 5, se muestra la relación entre los isótopos del oxígeno y el hidrógeno de esa misma línea que es igual a la unidad.

Se observa que el agua superficial y subterránea somera (dique, río, frentímetros) y el agua subterránea más profunda (pozos) tienden a agruparse a lo largo de la GMWL, excepto el agua de las lagunas que se agrupa en una línea de pendiente menor, lo que sugiere que esta agua ha sufrido un significativo proceso de evaporación que alteró su constitución isotópica inicial.

La magnitud $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$ es una expresión que relaciona esa relación hipotética con la relación real entre los isótopos del hidrógeno y del oxígeno. Dicha relación debe tender a la unidad cuando no existe fraccionamiento isotópico y tomaría valores mayores de la unidad cuando existe fraccionamiento.

En la Figura 4.100 se observa que el agua de pozo hacia la zona de recarga en la Provincia de Mendoza se encuentra menos afectada por procesos de evaporación, poseen valor medio de $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = -17.94$ y valor medio de $\delta\text{D}/\text{H} = -133.69$, siendo la relación $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O} = 7.45$.

El valor medio de estos parámetros en los otros pozos es: $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = -4.86$; la relación $\delta\text{D}/\text{H} = -29.85$; y el cociente $\delta(\text{D})/(\delta^{18}\text{O}) = 6.17$, valores muy similares a los del agua superficial y somera (dique, río, frentímetro): $\delta(\text{D})/(\delta^{18}\text{O}) = -4.93$; $\text{D}/\text{H} = -30.65$; $\delta(\text{D})/(\delta^{18}\text{O}) = 6.20$. En el caso del agua de las lagunas estos parámetros tienen el siguiente valor: $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.59$; $\text{D}/\text{H} = -2.72$; $\delta(\text{D})/(\delta^{18}\text{O}) = 5.59$ (F 4.99).

En el caso del Lago Epecuén donde se aprecia sal precipitada, el valor de $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $\delta\text{D}/\text{H}$ son positivos (3.69 y 12.32, respectivamente); lo mismo sucede para la relación $\delta(\text{D})/(\delta^{18}\text{O}) = 3.34$. Así, son positivas todas estas magnitudes en los casos de una laguna permanente en el Establecimiento El Tostado del partido de Pehuajó (AC20) y en las lagunas Las Tunas, Hinojo, Cuero de Zorro, Cochicó, del Monte y El Recado.

Los valores negativos del agua en Mendoza prueban que el agua allí precipitada es de valores muy negativos, con pocos isótopos, el resto del agua tiene un origen diferente (puntos negros en Figura 4.100) el agua se precipitó en condiciones climáticas más calientes que las de Mendoza o en sitios topográficamente más bajos, por lo que el origen del agua de Mendoza y al compararlas con el resto de las muestras es sustancialmente diferente. La presencia de relaciones isotópicas más ligeras en el agua captada en la provincia de Mendoza, en la cercanía de los Andes, pudiera atribuirse a un efecto de altitud.

La ecuación de regresión lineal correspondiente al agua superficial y subterránea (excepto lagunas) muestreada en las provincias de Mendoza, San Luis y Buenos Aires es: $\delta\text{D} = 7.9\delta^{18}\text{O} + 8.4$ (‰), y la de las lagunas es: $\delta\text{D} = 5.3\delta^{18}\text{O} - 5.5$ (‰) ya que estas muestras están afectadas por evaporación. En general, el valor promedio de la relación $(\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}_{\text{GMWL}})/\delta\text{D}$; en columna 5 de Tabla 4.54a-d) en el agua subterránea y superficial del área de interés es del orden de la unidad, mientras que en las lagunas, el valor medio de esta relación es del orden de 2.2, alcanzando valor superior a 3 en algunas lagunas. Es posible que la magnitud $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$ sea proporcional al volumen de agua evaporada.

Tabla 4.54a Composición isotópica de agua de pozos de la provincia de Mendoza

Muestra	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$	$\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$
AC4	-18.17	-136.02	7.48	-135.38	1.00
AC5	-18.23	-136.30	7.48	-135.83	1.00
AC6	-18.72	-139.23	7.44	-139.74	1.00
AC7	-16.44	-121.69	7.40	-121.55	1.00
AC8	-18.14	-135.19	7.45	-135.10	1.00
Promedio	-17.94	-133.69	7.45	-133.52	1.00

Tabla 4.54b Composición isotópica de pozos restantes muestreados

Muestra	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$	$\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$
AC1	-5.16	-29.40	5.69	-31.31	1.07
AC2	-5.07	-29.88	5.89	-30.57	1.02
AC3	-4.73	-30.51	6.46	-27.81	0.91
AC14	-4.66	-28.14	6.04	-27.29	0.97
AC22	-5.14	-31.62	6.15	-31.13	0.98
AC23	-4.62	-30.69	6.65	-26.94	0.88
AC24	-4.76	-30.85	6.49	-28.05	0.91
AC25	-4.44	-28.41	6.40	-25.54	0.90
AC26	-4.76	-27.81	5.84	-28.11	1.01
AC29	-4.79	-29.18	6.09	-28.34	0.97
AC30	-5.19	-30.82	5.94	-31.53	1.02
AC31	-4.63	-28.78	6.22	-27.04	0.94
AC32	-4.96	-29.29	5.90	-29.69	1.01
AC34	-4.24	-28.94	6.82	-23.96	0.83
AC35	-3.61	-25.43	7.05	-18.84	0.74
AC36	-5.04	-31.32	6.21	-30.35	0.97
AC49	-5.31	-32.00	6.03	-32.48	1.01
Promedio	-4.86	-29.85	6.17	-28.87	0.97

Tabla 4.54c Composición isotópica de agua superficial y subterránea somera (dique, río, frentímetros) del área de estudio

Muestra	$\Delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$	$\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$
AC9	-3.36	-20.49	6.10	-16.88	0.82
AC10	-4.94	-28.49	5.76	-29.55	1.04
AC11	-4.37	-27.29	6.25	-24.93	0.91
AC15	-5.19	-34.31	6.61	-31.52	0.92
16 AC	-5.99	-41.24	6.89	-37.90	0.92
AC17	-5.00	-29.06	5.81	-30.01	1.03
AC18	-5.10	-30.94	6.06	-30.84	1.00
AC19	-5.76	-36.19	6.28	-36.11	1.00
AC21	-4.89	-31.79	6.50	-29.10	0.92
AC27	-4.44	-24.67	5.55	-25.55	1.04
AC33	-4.51	-29.64	6.57	-26.08	0.88
A37C	-5.56	-33.64	6.05	-34.51	1.03
Promedio	-4.93	-30.65	6.20	-29.42	0.96

Tabla 4.54d. Composición isotópica del agua de lagunas en la área de estudio

Muestra	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$	$\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}$	$\delta\text{D}/^{18}\text{O}_{\text{GMWL}}/\delta\text{D}$
AC13	-1.90	-23.13	12.14	-5.24	0.23
AC20	2.25	5.73	2.55	27.97	4.88
AC28	-7.75	-44.64	5.76	-51.97	1.16
AC38	-2.40	-20.27	8.45	-9.20	0.45
AC39	3.06	11.88	3.88	34.49	2.90
AC40	3.57	15.31	4.29	38.56	2.52
AC41	4.47	16.96	3.79	45.78	2.70
AC42	2.82	10.47	3.71	32.57	3.11
AC43	3.69	12.32	3.34	39.54	3.21
AC44	3.29	11.82	3.59	36.33	3.07
AC45	3.03	10.83	3.57	34.27	3.17
AC46	-1.46	-14.50	9.96	-1.65	0.11
AC50	-1.10	-6.26	5.69	1.20	-0.19
AC51	-3.30	-24.66	7.48	-16.38	0.66
Promedio	0.59	-2.72	5.59	14.73	2.17

En la Figura 4.101 se compara, la relación media de los isótopos del oxígeno $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$ y el hidrógeno $\delta(\text{D}/\text{H})$, del agua colectada y analizada para este trabajo con la de muestras de agua superficial y subterránea de varios países (México, Argentina, Estados Unidos de Norte América y Polonia), tomándose como referencia además, la línea GMWL.

En general, las muestras que presentan la relación $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H})$ menos enriquecida en isótopos pesados, corresponden con agua hacia la zona de recarga de flujo preferentemente regional en la Provincia de Mendoza. Desde la perspectiva de la evolución del agua después de recargarse el agua se transforma progresivamente hacia mayor enriquecimiento en isótopos pesados como se ha observado en el agua subterránea profunda (70 - 406m) de la Cuenca de México (Cortés *et al.*, 1989; Edmunds *et al.*, 2002); el agua de pozos de la Cuenca del Chalco, captada en la proximidad de la ciudad de México (Ortega, 1993); el agua superficial y subterránea de la Cuenca de Tucson en USA (Kalin y Long, 1994), el agua termal de Argentina (Bonarino, 1988, Bonarino y Panarello, 1984), y Polonia (Porowski, 2004).

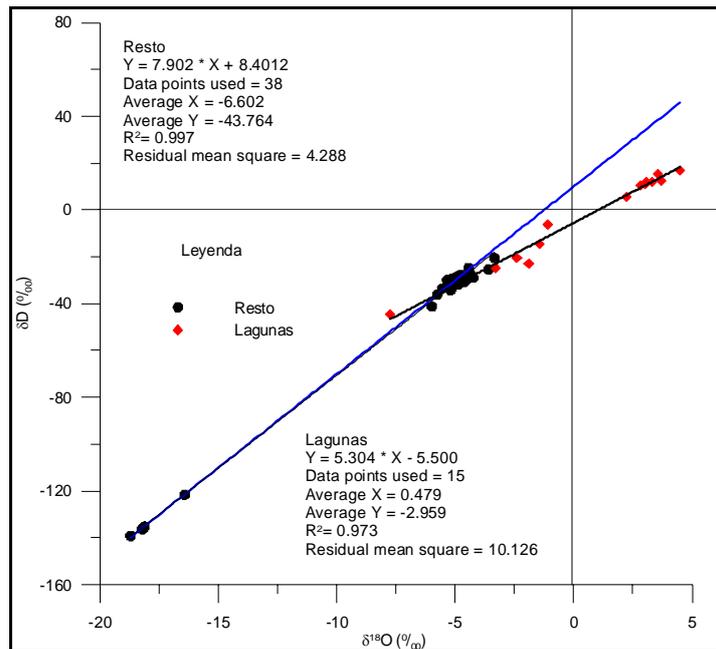
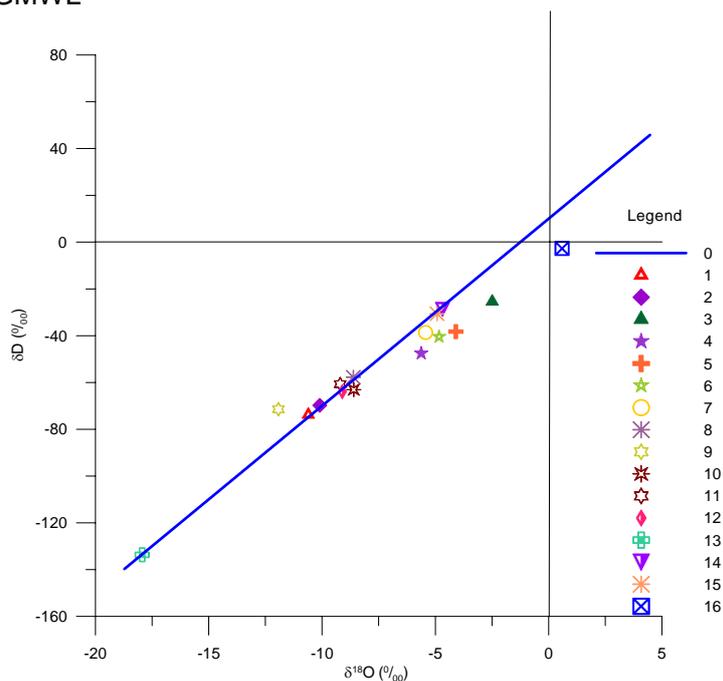


FIGURA 4.100 Correlación entre la relación isotópica de isótopos estables del oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y del hidrógeno (D/H), correspondiente a muestras de agua del área estudiada. Se toma como referencia la línea GMWL



1: Agua de manantial (México) (Cortés *et al.*, 1989); **2:** Cuenca de México (Edmund *et al.*, 1989); **3:** Cuenca del Chalco; **4:** Cuenca del Chalco (3 y 4 en Ortega, 1993); **5:** Agua termal (Polonia); **6:** Agua termal (Polonia) (5 y 6 en Porowski, 2004); **7:** Cuenca de Tucson, Lluvia p- húmedo; **8:** Cuenca de Tucson, Lluvia p- seco; **9:** Cuenca de Tucson, Lluvia en montañas; **10:** Cuenca de Tucson, Río Santa Cruz; **11:** Cuenca de Tucson, Río Rillito; **12:** Cuenca de Tucson, agua subterránea (USA) (7 a 12 en Kalin y Long, 1994); **13:** tesis, Mendoza; **14:** Cuenca de Tucson, agua superficial (USA), Kalin y Long (1994); **15:** Tesis, otros pozos; **16:** Tesis.

FIGURA 4.101 Correlación entre las relaciones isotópicas medias de isótopos estables del oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y del hidrógeno (D/H), correspondiente con las muestras del área de estudio y de otros países. Se toma como referencia la línea GMWL

Luego se orientan en el mismo sentido en la curva, las muestras de agua superficial y el resto de los pozos estudiados en el área de interés, seguidas de muestras de pozos de la Cuenca del Chalco en México (Ortega, 1993), algunas fuentes termales de Polonia (las de mayor contenido de STD), y finalmente, las muestras de las lagunas estudiadas.

El agua termal de Polonia de mayor STD y las muestras captadas en las lagunas del área de interés se sitúan en líneas de regresión de menor pendiente, lo cual se explica por el mayor enriquecimiento en isótopos pesados que experimenta el agua durante el fraccionamiento isotópico debido a la alta temperatura del agua termal y evaporación producida en los lagos, respectivamente.

Aunque el artículo sobre la información de Polonia (Porowski, 2004) no presenta valores de temperatura, es de esperar que el agua termal que presenta mayor contenido de minerales disueltos, posean también la temperatura más elevada.

RESUMEN SOBRE LA MODELACIÓN HIDROGEOQUÍMICA

Los datos hidrogeoquímicos de las muestras analizadas en la presente tesis, muestran en el *diagrama de Piper–Hill*, que las aguas se incorporan en grupos que se orientan siguiendo una tendencia al incremento del contenido de Cl^- y Na^+ .

Sobre la base de la *clasificación hidrogeoquímica de Kurlov* se determinaron 5 grupos de agua, que permiten interpretar el comportamiento hidrogeoquímico de las muestras al agrupar a estas de acuerdo con cada **facies hidrogeoquímica** presente. El *diagrama de Stiff*, permite distinguir con precisión la similitud y contraste entre el contenido iónico de las muestras.

Los *cinco grupos* presentan las siguientes *facies, patrón hidrogeoquímico, tipo de manifestación* y sitio en que se identifican:

- Grupo 1, *tipo sulfatada-cálcica*, algunas con ligera tendencia clorurada y sódica. Patrón hidrogeoquímico medio de tipo: 361-316. Manifestación: pozos profundos de Mendoza, y una superficial de San Luis.
- Grupo 2, tipo *bicarbonatada con tendencia a sulfatada, con predominio de los cationes calcio y sodio*; el patrón medio que representa este grupo hidrogeoquímico fue de: 451-163. Manifestación: superficial de San Luis, y una subterránea somera, freático de Pehuajó.
- Grupo 3, tipo *bicarbonatada-sódica, con tendencia a clorurada-sulfatada* El patrón hidrogeoquímico medio es de tipo 811-361. Manifestación: 6 pozos y 2 freáticos, de Trenque Lauquen (4), Pehuajó (2), Carlos Casares (1) y Nueve de Julio (1).
- Grupo 4, tipo *clorurada bicarbonatada, principalmente sódica*. Patrón hidrogeoquímico medio: 811-631. Manifestación: pozos (5) y freáticos (2), de Trenque Lauquen (3), Pehuajó (3) y Carlos Casares (1).
- Grupo 5, *tipo clorurada-sódica con tendencia a clorurada-sulfatada*. El patrón hidrogeoquímico dominante es: 811-712. Se manifiesta en pozos (6), freáticos (4) y lagunas (14), ocho correspondientes a Trenque Lauquen, nueve en Pehuajó, una en Carlos Casares y las restantes en otros sitios.

En la *provincia de Buenos Aires* en los diferentes partidos analizados, el Grupo 5 es el que prevalece, agua de tipo clorurada-sódica con tendencia a clorurada-sulfatada. Se presenta en diferentes manifestaciones, pozos, freáticos y lagunas. En esta provincia le siguen en importancia el grupo 4 (clorurada-bicarbonatada, principalmente sódica), y luego el 3 (bicarbonatada-sódica, con tendencia a clorurada-sulfatada).

En la provincia de Mendoza, prevalece el Grupo 1, tipo sulfatada-cálcica, algunas con ligera tendencia clorurada y sódica, y en la provincia de San Luis el Grupo 2 (bicarbonatada tendiendo a sulfatada, con predominio de los cationes calcio y sodio).

A partir de la información obtenida, grupos de aguas, y diagramas de Stiff, se establece la **evolución de la composición química del agua** a lo largo de su trayectoria en las diferentes partes del área de estudio. El agua tiende a evolucionar por lo general, desde facies de tipo *sulfatada-bicarbonatada* y *bicarbonatada-sulfatada*, prosiguiendo por facies *bicarbonatada-clorurada*, seguida de *clorurada-bicarbonatada*, hasta *facies clorurada* y *clorurada-sulfatada*. En relación con los cationes, la evolución va desde *cálcica* hasta *sódica*.

Estos cambios se producen, principalmente, como resultado del movimiento del agua de los *flujos local e intermedio desde la zona de recarga hasta la zona de descarga*; en estas últimas (usualmente lagunas) es donde se mezcla el agua de estos flujos. Es posible que además exista un aporte adicional de agua de carácter más profundo y regional.

En las *lagunas*, la calidad del agua de descarga sufre un cambio apreciable debido a procesos de diferente naturaleza: pérdida de gas (CO_2) acompañado de recombinación iónica con precipitación de minerales, cambio de pH ácido a básico, variación del potencial de oxidación-reducción de reductor a oxidante (pasando el Fe^{2+} , soluble a Fe^{3+} que forma hidróxidos férricos insolubles; el H_2S se oxida a azufre coloidal que precipita, entre otros cambios). Finalmente, procesos de evaporación, y precipitación de minerales, primero los más insolubles (dolomita, calcita, sílice) y luego los más solubles (como yeso y halita).

El **origen de la composición química y aporte de los diferentes flujos** en la composición química del agua, estableciendo asociaciones geoquímicas entre macro y micro elementos; se establece mediante el uso de modelos de correlación matemática (geoestadístico), equilibrio geoquímico y termodinámico; y mediante modelos hidrogeoquímicos de *balance de masa y mezcla de agua*. Los procesos de evaporación en la composición química del agua fue confirmada por la información isotópica.

La información litológica y mineralógica, regional y local del área de estudio, y la composición del agua muestreada, se usaron para definir los procesos *geoquímicos que originaron la composición química del agua*. Asimismo, se consideró, el *estado de saturación* de las aguas mediante el uso del índice de saturación, en función de los minerales constitutivos por donde dichas aguas circulan. Se consideraron los siguientes **minerales** como los principales responsables de la calidad del agua: halita, yeso, calcita, cuarzo, plagioclasa (albita y anortita), feldespatos-K, biotita y el mineral arcilloso caolinita; y los **procesos** analizados fueron los siguientes: disolución – precipitación de halita, yeso, calcita, cuarzo y calcedonia; e intemperismo de biotita, plagioclasas (anortita y biotita) y feldespatos-K.

El análisis de la *adquisición química del agua* se hizo con base en: **a)** suponer que solamente las zonas de recarga aportan agua en superficie, subterránea somera y profunda captada en ríos, diques, freáticos y pozos (*modelo de balance de masa*); y **b)** mediante una interpretación más precisa, por la presencia de mezclas de agua con flujos de carácter intermedio y regional (*modelo hidrogeoquímico de mezcla de agua*).

El modelo de balance de masa de los datos hidrogeoquímicos, establece que si bien la composición química del agua del presente estudio *se puede explicar mediante procesos geoquímicos similares*, dada la composición similar de minerales presentes (probables), la proporción en que ocurren los *procesos de intemperismo es diferente*.

El agua que circula por la zona de recarga de las provincias de *Mendoza y San Luis* adquiere su composición, principalmente, mediante procesos de disolución de minerales, salvo en algunas ocasiones en que se produce pequeña precipitación de algún mineral (calcita).

En *Trenque Lauquen* se produce precipitación de calcita del agua que posee contenido de STD superior a 3,800mg/l. En agua con STD superior a 7,500mg/l se origina un proceso de intercambio catiónico entre calcio y sodio (se incrementa el Ca).

En el proceso de adquisición de la composición química del agua en *Pehuajó* se produce la precipitación de calcita en todos los casos, y el intercambio iónico inverso se origina en aquella agua cuyo contenido de STD supera los 12,000mg/l.

El agua colectada en el resto de la *provincia de Buenos Aires* adquiere su composición química en forma similar a la de otros territorios anteriormente descritos; aquí el proceso de *precipitación de calcita* sucede en agua con valor de STD superior a 1,300mg/l.

El modelo hidrogeoquímico de mezcla de agua se realizó tomando de referencia un miembro extremo de más baja salinidad proveniente de freáticos próximos a lagunas, en *Trenque Lauquen*, muestra AC33, y en *Pehuajó*, muestra AC17; mientras que como miembro extremo de máxima mineralización se consideró una muestra de agua del catálogo de Manifestaciones termales de la República de Argentina (Pesce y Miranda, 2003), que podría corresponderse con flujo intermedio-regional y participar en la composición final del agua estudiada en la provincia de Buenos Aires (BA73, pozo de 1116.2m, con una temperatura del orden de 75-80 °C y mineralización como TDS de 127,000 mg/l). Se obtuvo, que el aporte del flujo intermedio-regional empieza a ser significativo en las lagunas Cochicó, Cuero Zorro, Salada, Gómez, El Tostado con entrada de agua por debajo de un 2-4%, en las lagunas del Monte, Hinojo, Murphy es de 6%, en las Tunas y el recado de 9-12%, y de 45% en el Lago Epecuén. Se considera, que de tomarse un miembro extremo con menor salinidad (flujo intermedio no diferenciado) el aporte de esta agua sería mayor al obtenido para la muestra BA73.

Durante el proceso de adquisición de la composición química del agua de las **lagunas** se origina la *disolución notable de minerales* como el yeso, albita y biotita, mientras tiende a producirse *precipitación apreciable* de halita, calcita, cuarzo y arcilla, y ocasionalmente dolomita. Los resultados hidrogeoquímicos del agua estudiada, se comportan acorde con el modelo de Herdie-Eugster para agua evaporada, en el cual ocurrirá la precipitación de CaCO_3 , cuando la concentración de HCO_3^- en moles/l es mayor que 2 veces la concentración de calcio en moles/l, o una vez expresado en meq/l. Esto es lo que ocurre en las lagunas estudiadas, el calcio precipita durante la evaporación y la solución tiende a dar una salmuera carbonatada alcalina. Si el calcio es mayor que la alcalinidad, todo el carbonato será removido de la solución y esta tenderá a originar una salmuera sulfatada o clorurada neutra.

Respecto a la saturación del agua con respecto a los **minerales** con los que tiene contacto durante su circulación se aprecia que:

- ⇒ *Calcita y dolomita*, las muestras menos saturadas son las de menor STD, aguas de los grupos 2 y 3, mientras que tiende a la sobresaturación el agua de los grupos 1, 4 y 5.
- ⇒ *Sepiolita*, tomada en representación de la biotita, todas las aguas están no saturadas.
- ⇒ *Halita y yeso*, las aguas se encuentran no saturadas, el grado de saturación es mayor a medida que aumentan los STD en el agua. El agua menos saturada respecto a la halita es las de los grupos 2 y 3, seguida del agua de los grupos 1 y 4, y las de más grado de saturación son las del grupo 5. Esto es coherente con el menor contenido de Cl^- en las primeras y el mayor contenido en las últimas. Con respecto al yeso las menos muestras menos saturadas son las aguas de los grupos 2, 3 y 4 y las más saturadas son las aguas de los grupos 1 y 5, donde es mayor el aporte relativo del sulfato.

- ⇒ *Cuarzo*, las aguas de los grupos 1, 3 y 4 tienden a encontrarse sobresaturadas, mientras que las de los grupos 2 y 5 tienden a presentarse subsaturadas.
- ⇒ *Calcedonia*, todas las aguas tienden a presentarse subsaturadas, con excepción de las del grupo 3 que tienden a la sobresaturación.
- ⇒ *SiO₂ amorfo*, todas las aguas se encuentran subsaturadas.
- ⇒ *Minerales portadores de hierro*, el agua se encuentra en todos los casos sobresaturada con respecto a la goetita y hematina, mientras permanece subsaturada con respecto al Fe (OH)₃ amorfo.
- ⇒ *Fluorita, pirolusita, celestita, Zn(OH)₂ y CdSO₄*; todas el agua permanece subsaturada.
- ⇒ *Barita*, los estados de subsaturación se presentan en agua de baja mineralización de los grupos 2 y 3, mientras que la de los grupos restantes tiende a la sobresaturación.
- ⇒ *K-feldespatos, anortita y albita*, se encuentran subsaturadas.

Por tipo de manifestación, las lagunas presentan los menores valores de IS con respecto a la halita; las manifestaciones restantes poseen valor alto de subsaturación. El yeso, calcita, dolomita y cuarzo, presentan muchas diferencias.

Los resultados del *análisis del estado de equilibrio* de las aguas objeto de estudio son en parte coherentes con los resultados obtenidos mediante la aplicación de modelos de *balance de masas y mezcla de aguas*, analizados en punto anterior, en los que se encontró que en los procesos de interacción agua – roca que originan la composición química de las aguas superficial y subterránea de las regiones Mendoza, San Luis, Trenque Lauquen, Pehuajó y otros sitios de la provincia de Buenos Aires, intervienen procesos de disolución de halita, yeso, biotita, albita, anortita y K-feldespatos, mientras prevalecen los procesos de precipitación de calcita. En el caso de las lagunas, se originan también procesos de precipitación de halita y ocasionalmente de dolomita.

Los análisis de **correlación lineal** de iones mayores y otros parámetros geoquímicos, indicaron que la correlación más significativa ($r > 0.80$) se obtiene entre STD, CE y los iones Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ y K⁺, por lo que estos resultados son coherentes con las hipótesis establecidas anteriormente.

La carencia de correlación encontrada entre STD y CE, con los iones HCO₃⁻, Ca²⁺ y Mg²⁺ indica que los minerales que originan a los mismos (calcita, biotita), contribuyen poco a la ganancia iónica en el proceso de intemperismo o que éste produce precipitación de dichos iones. El modelo de balance de masas y mezcla de aguas explica que en muchos casos, principalmente en las lagunas, se produzca una apreciable precipitación de calcita, y en ocasiones, también de halita y dolomita.

En las lagunas analizadas, la variación temporal de su composición química entre 1997 y 2007 es importante, y si bien existe cierta correspondencia con épocas de sequía-inundación, esta correspondencia no es clara y directa.

Las **anomalías** y las correspondientes **asociaciones geoquímicas**, se establecieron determinando la concentración media de cada elemento y se realizaron los estudios por tipo de agua, se obtuvo que los cinco grupos de agua presentan componentes anómalos. El grupo 5, que es el mayoritario en el área de estudio, también es el que presenta mayor cantidad de elementos anómalos, entre ellos figuran: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, F⁻, Br⁻, I⁻, Sr²⁺, Ba²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, Cr⁵⁺, Co²⁺, Al³⁺, Ti⁴⁺, Pd⁴⁺, Rb⁺, Sb³⁺, Cs⁺ y metales de tierras raras (La³⁺, Pr³⁺, Nd³⁺, Sm³⁺, Dy³⁺ y Er³⁺).

Al comparar la composición de los **componentes minoritarios** de las diferentes manifestaciones, se aprecia que el agua de las lagunas no tiene un aporte importante de agua superficial de San Luis, ni de los pozos de Buenos Aires, y Mendoza.

La mayoría de los elementos (F^- , Br^- , I^- , As^{+3} , Sr , Ba^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{5+} , Zn^{2+} , Zr^{4+} , Al^{3+} , Ti^{4+} , Mo^{3+} , V^{5+} , W^{3+} , Ga^{3+} , Pd^{4+} , Rb^+ , Sb^{3+} , Cs^+ , Re^{2+} , Th^{3+} , U^{3+} , e Y^{3+}) tienden a incrementarse desde zonas de recarga (Provincia de Mendoza) hasta las de descarga (lagunas). Estos elementos aumentan marcadamente, unas diez veces o más (Br^{-1} , As^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{5+} , Zn^{2+} , Sn^{4+} , Zr^{4+} , Al^{3+} y Mo^{3+}). Este incremento se presenta en todas las manifestaciones, destacándose los valores mayores en los pozos de Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares, Nueve de Julio respecto a los freáticos de Buenos Aires, con excepción del Mn^{2+} y Pb^{2+} que es mayor en freáticos, y el Hg^{2+} que es semejante. El máximo aumento en los pozos de Buenos Aires, es por Mo^{3+} y V^{5+} .

El agua superficial de San Luis (Río Quinto) presenta un aumento respecto a los valores observados en Mendoza. Por el contrario, algunos componentes (Li^{1+} , Si^{4+} , Ge^{4+} , Se^{2+} , Tl^{1+} , Sc^{3+}) poseen mayor concentración en los pozos ubicados en la provincia de Mendoza que en las lagunas de Buenos Aires, que sugiere que agua de los pozos de Buenos Aires y de Mendoza, no manifiesta influencia en el agua de las lagunas analizadas.

Se destaca que la concentración de Li^{1+} es mayor en el agua subterránea de Mendoza que en las lagunas, este elemento es conservativo y no sale de solución durante los procesos de precipitación de minerales, por lo que se interpreta que el aporte de esa agua a las lagunas no es significativo.

La abundancia relativa de **metales de tierras raras** no puede ser comparada con datos en la región por no estar asequibles, por lo cual se analizaron las relaciones entre algunos metales de tierras raras con el objetivo de evaluar la abundancia relativa de los tipos de tierras raras en diferente manifestación.

Los resultados demuestran que el agua de los pozos hacia la zona de recarga de flujos intermedio y regional en la provincia de Mendoza presenta un mayor contenido de tierras raras para la relación Nd/Ce en comparación con Yb/Gd, la primera es marcadamente superior en los pozos de Mendoza. La relación Nd/Ce disminuye en todo el resto de las manifestaciones.

Las lagunas mas salinas, presenta un origen diferente al resto de las lagunas muestreadas, y manifestaciones. Los freáticos presentan similitud en la relación Nd/Ce/ Yb/Gd con los ríos, diques de Mendoza y San Luis.

Sobre la base de las relaciones de lantánidos, se podría interpretar que el agua de las lagunas tiende más a parecerse al agua de los pozos, y menos a la de freáticos, y marcadamente diferente con el agua de la zona de recarga del flujo regional Mendoza, lo cual es coherente con los resultados del modelo de mezcla de agua que indican un mayor aporte del flujo intermedio que regional a las lagunas.

La **composición de isótopos estables** del agua fue usada para caracterizar los tipos de fuentes e identificar el origen de la recarga, ya que el agua cambia su estado físico por evaporación o condensación (fraccionamiento isotópico) lo que se encuentra afectado por la temperatura y la altitud.

De la relación entre los valores $\delta^{18}O/^{16}O$ y $\delta D/H$ correspondientes al agua muestreada, tomando de referencia la línea GMWL, se observó que el agua superficial, subterránea somera (diques, ríos, freáticos), y el agua subterránea más profunda (pozos) tienden a agruparse a lo largo

de dicha línea, excepto el agua de las lagunas que se agrupa en una línea de pendiente menor, lo que sugiere que ha sufrido un significativo proceso de evaporación que alteró su constitución isotópica inicial.

El agua de pozo hacia la zona de recarga del flujo regional en la Provincia de Mendoza se encuentra menos afectada por procesos de evaporación, tiene el valor medio de $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = -17.94$ y valor medio de $\delta\text{D}/\text{H} = -133.69$, para la relación $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H}) = 7.45$.

En "otros pozos" de Carlos Casares, Pehuajó, Trenque Lauquen y 9 de Julio, los valores y relaciones son: $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = -4.86$; la relación $\delta\text{D}/\text{H} = -29.85$; relación $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H}) = 6.17$. Estos valores son muy similares a los del agua superficial en San Luis, y freáticos en Buenos Aires: $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = -4.93$; $\text{D}/\text{H} = -30.65$; $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H}) = 6.20$.

En lagunas estos parámetros tienen el siguiente valor: $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 0.59$; $\text{D}/\text{H} = -2.72$; $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H}) = 5.59$. Se destacan valores positivos en Lago Epecuén, $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 3.69$ y $\delta\text{D}/\text{H} = 12.32$; relación $\delta(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})/(\delta\text{D}/\text{H}) = 3.34$. También son positivos, laguna permanente en el Establecimiento El Tostado del partido de Pehuajó (AC20) y en las lagunas Las Tunas, Hinojo, Cuero de Zorro, Cochicó, del Monte y El Recado.

Si bien, la ocurrencia de relaciones isotópicas más ligeras (valores negativos) en el agua captada en las provincias de Mendoza y San Luis es atribuible al efecto de altitud, no se identifica agua con contenido isotópico similar en ningún aprovechamiento o cuerpo de agua de la Planicie bonaerense, lo que sugiere que el agua recargada en la zona de Mendoza descarga posiblemente en el Atlántico, y que la provincia de Buenos Aires las lagunas reciben aguas de flujos local e intermedio.

A fin de definir con mayor precisión el mecanismo de alimentación de lagunas, se requiere del análisis de los elementos minoritarios, tierras raras, isótopos estables y radiactivos ambientales (tritio, carbono-14, no disponibles), así como la modelación hidrogeológica que se analiza en punto siguiente.

CONCLUSIONES, MODELACION HIDROGEOQUÍMICA

Los programas aplicados y análisis efectuado sobre las muestras de agua colectadas para la presente tesis y las provenientes de otras fuentes, a fin de realizar la modelación hidrogeoquímica del flujo subterráneo, permiten establecer lo siguiente:

- las lagunas localizadas en las depresiones inter-medanosas presentan elevada concentración de STD, lo que se manifiesta en una elevada salinidad y sal depositada en la vecindad de las mismas. Ello sugiere que la concentración original del agua era mucho mayor que la que denota el análisis químico y que por lo tanto, se ha producido un gran *proceso de evaporación y precipitación de minerales*. Este hecho de evaporación se confirma mediante el análisis de los resultados de los isótopos estables de hidrógeno y oxígeno
- el *modelo de balance de masa* de los datos hidrogeoquímicos, establece que si bien la composición química del agua del presente estudio se puede explicar mediante procesos geoquímicos análogos, dada la esperada composición mineralógica similar presente (probable), la proporción en que suceden los procesos de intemperismo es diferente. Asimismo, explica que en muchos casos, principalmente en las lagunas, se produzca una apreciable precipitación de calcita, y en ocasiones, también de halita y dolomita
- el *modelo de mezcla* que toma como referencia de miembro extremo de más baja salinidad freáticos localizados en Trenque Lauquen (AC33) y Pehuajó (AC17) en las proximidades de lagunas, y como miembro extremo de máxima mineralización al agua de un pozo de flujo regional en la provincia de Buenos Aires (BA73), indicó la presencia de

agua de este último en un 9, 12 y 45% en las lagunas de Las Tunas, El Recado y Epecuén, respectivamente. Lo cual sugiere la importancia de la entrada difusa de agua desde profundidad y explica que en muchos casos, principalmente en las lagunas, se produzca una apreciable precipitación de *calcita*, y en ocasiones, también de *halita* y *dolomita*

- los resultados del *análisis del estado de equilibrio* de las aguas objeto de estudio son en parte *coherentes* con los resultados obtenidos mediante la aplicación de modelos de *balance de masas y mezcla de aguas*. Mediante dichos modelos se encontró que en los procesos de interacción agua-roca que originan la composición química de las **aguas superficial y subterránea** de las regiones Mendoza, San Luis, Trenque Lauquen, Pehuajó y otros sitios de la provincia de Buenos Aires, intervienen procesos de disolución de halita, yeso, biotita, albita, anortita y K-feldespatos, mientras prevalecen procesos de precipitación de calcita. En el caso de las **lagunas**, se encontró que se originan también procesos de precipitación de halita y ocasionalmente de dolomita
- La comparación de **componentes minoritarios** de las diferentes manifestaciones, indican que el agua de las lagunas no tiene un aporte importante de agua superficial de San Luis, ni de los pozos de Buenos Aires, y Mendoza. La mayoría de los elementos tienden a incrementarse desde zonas de recarga (Mendoza) hasta las de descarga (lagunas, Buenos Aires). Estos elementos aumentan marcadamente (diez veces o más): Br^{-1} , As^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{5+} , Zn^{2+} , Sn^{4+} , Zr^{4+} , Al^{3+} y Mo^{3+} , en todas las manifestaciones, destacándose los valores mayores en los pozos de Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares, 9 de Julio respecto a los freáticos de Buenos Aires, con excepción del Mn^{2+} y Pb^{2+} que es mayor en freáticos, y el Hg^{2+} que es semejante. El máximo aumento en los pozos de Buenos Aires, es por Mo^{3+} y V^{5+} .
- la variación temporal de la salinidad de las lagunas entre 1998 y 2007 es importante en las lagunas analizadas, y si bien existe cierta correspondencia con épocas de sequía-inundación, esta correspondencia no es clara y directa
- desde la perspectiva de tierras raras *el agua de las lagunas proviene de diferente origen al de las otras manifestaciones*, y presenta mayor relación con los *pozos de Buenos Aires* que con los freáticos, y es marcadamente diferente con el agua de la zona de recarga del flujo regional Mendoza, lo cual es coherente con los resultados del modelo de mezcla de agua que indican un mayor aporte del flujo intermedio que regional a las lagunas.
- Por el Li, también se aprecia que las lagunas no tienen un aporte importante de agua de freáticos, pero tampoco de los pozos de Trenque Lauquen, Pehuajó y Carlos Casares ni con los pozos de Mendoza. El Li en los pozos de Mendoza, sobrepasa la concentración observada de Li en las lagunas, siendo el Li conservativo, no se espera que salga de solución durante procesos de precipitación de minerales.
- las **anomalías y las correspondientes asociaciones geoquímicas**, indican que los cinco grupos de aguas presentan componentes anómalos. El grupo 5, que es el mayoritario en el área de estudio, también es la que presenta mayor cantidad de elementos anómalos.
- Lo obtenido revela que las lagunas reciben aportes de agua que no dependen directamente del agua de lluvia del lugar.

4.4.2. Modelación de flujo de agua subterránea MODFLOW

4.4.2.1. Calibración del modelo MODFLOW

En este apartado se describe y aplica la calibración del modelo MODFLOW tal como se describió precedentemente por Nuñez-Muñoz (2000) como puntos B y C sobre las etapas de construcción del modelo, que consideran:

- *Ejecutar, calibrar* (cualitativa y cuantitativamente) y *validar el modelo* mediante *iteraciones y modificación de variables*, para obtener un resultado acorde con datos de campo históricos,

en este caso la información que se usó como referente para reproducirla fue la *superficie freática de 1974* (Figura 2.41).

- *Simular los efectos de diferente situación de estrés*, esto se llevó a cabo en el modelo una vez que este fue construido y validado. Las situaciones de estrés incluyen incorporar valores anuales de *recarga* (250 a 500mm) y de *evapotranspiración potencial* (hasta 1,000mm).

La calibración es el proceso a fin de lograr que el modelo simule de la manera más cercana los niveles de la superficie freática observada en el área de investigación. La distribución de esta superficie se considera que está representada por las *cargas hidráulicas* iniciales propuestas para el año de 1974, que en principio es la información más antigua asequible y que cubre toda el área de investigación.

Estado transitorio del modelo de flujo.-Mediante la calibración realizada en *estado transitorio*, los cálculos realizados por MODFLOW muestra la *evolución de la superficie* freática que se modifica de acuerdo con las *entradas y salidas constantes* en el tiempo de cálculo, o denominado *periodo de esfuerzo hidrológico* (entendido esfuerzo como el paso de tiempo durante el cual las condiciones de entrada y salida de agua no cambian). Los cálculos de calibración los realizó el modelo con pasos de tiempo de un *año hasta un total de 30 años*, al final se tuvieron los resultados que representan satisfactoriamente las cargas iniciales del año de 1974.

A fin de establecer la simulación transitoria de la *evolución del flujo* de agua subterránea en el tiempo (estado transitorio del modelo de flujo) se dividió el periodo total de la simulación en lapsos llamados de *estrés*, que como se indicó son cada uno con un paso de tiempo de un año de duración. Esto se realiza por corridas sucesivas del modelo numérico a través de una estrategia de *ensayo y error*, que intenta llegar a un ajuste de los resultados del modelo con aquellos de las observaciones reales aplicando criterios de funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea dentro del área de investigación, y acordes con el comportamiento hidrogeológico definido basado en condiciones ideales.

Sensibilidad del modelo al cambio de propiedades hidráulicas.- Es importante destacar que los resultados finales obtenidos se lograron incorporando valores de las propiedades asignadas al *material geológico* del subsuelo de acuerdo con los valores de campo reportados en la Tabla 2.2, valores que no fueron alterados en las diversas corridas finales realizadas para lograr los objetivos planteados, por lo tanto, el modelo incorpora *valores medios* de estos parámetros. Así, con base en estos valores medios se hicieron corridas bajo diferentes *valores extremos* de diversas propiedades para conocer la respuesta del modelo a dicho cambio. Así, se realizaron corridas con mayor y con menor conductividad hidráulica a los valores de la Tabla 2.2 en los materiales geológicos de las capas superiores; también se efectuaron corridas con valores menores y mayores de porosidad. Con estas acciones se obtuvo la *sensibilidad del modelo* a cambios en esas propiedades.

Condiciones de frontera.-Como se ha descrito anteriormente uno de los esquemas realizados fue el de establecer *condiciones de frontera* asignando diferentes cargas hidráulicas (*GHB*) laterales en sitios por donde el agua ingresa de acuerdo con la distribución de cargas en las fronteras para el año 1974. Esto se realizó debido a que existe agua subterránea que, de acuerdo con la conformación de la superficie freática, entra en forma horizontal hacia el área de estudio.

En la Figura 4.102 se presenta el área de estudio, obtenida a partir del modelo luego que se incorporaron al mismo, información topográfica y referencias geográficas: curvas de nivel con equidistancia de 10m, ubicación de ríos, rutas, ferrocarriles, y poblaciones, suministrada por el Lic. J.C.Gómez (inédito, archivo digital de la República Argentina).

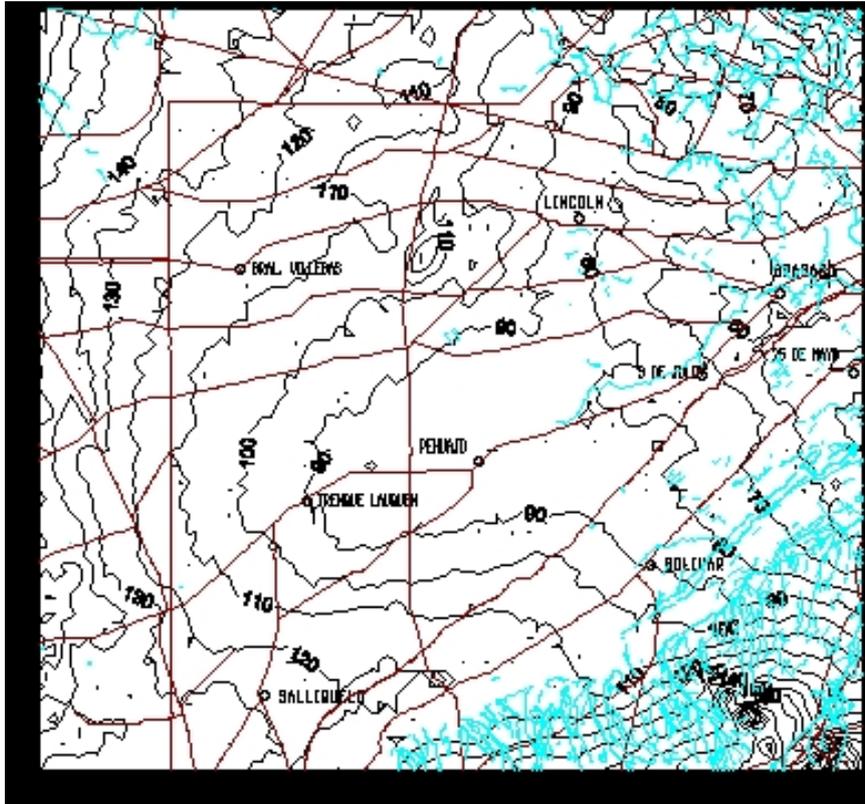


Figura 4.102 Área de estudio, captada del modelo MODFLOW luego que se incorporaron al mismo, curvas de nivel con equidistancia de 10m y referencias geográficas (Lic. J.C.Gómez, inédito, archivo digital de la República Argentina)

4.4.2.2. Análisis de posibles alternativas de funcionamiento de la inundación

Esta parte incluyó la simulación para obtener posibles resultados sobre la distribución de cargas hidráulicas producto de *diferentes condiciones hidráulicas de recarga, evapotranspiración potencial, y funcionamiento del agua subterránea* en el área de estudio, como por ejemplo la entrada vertical de agua ascendente.

Balance de masa.- Una salida de datos del modelo es el balance de masa, el cual compara las “entradas totales vs salidas totales” en el lapso de tiempo considerado. Este resultado se logra al incluir toda la unidad acuífera que es una capa con espesor variable del orden de 1,500m, es de notar que la extracción de agua subterránea está dirigida sólo a su parte superficial. Extracción que no es significativa como para considerarse en la modelación realizada ya que excepto por los pozos en poblados específicos, se efectúa por medio de pozos con bomba activada por viento. Esta unidad descansa sobre aproximadamente 3,500m de roca fracturada (granito) con K_x , K_y y K_z con un valor de $1m/día$ y un *rendimiento específico* (S_y) de 0.001. El modelo manifiesta el cálculo como la respuesta en la superficie freática por salida (evapotranspiración potencial) o entrada (recarga). Es de enfatizar que en la modelación participa la cantidad de agua que fluye en tres dimensiones hacia el área de interés de subcuencas vecinas, para esto fue necesario incorporar entradas verticales ascendentes de agua cuya zona de recarga está localizada fuera del área modelada.

La Figura 4.103 presenta un corte transversal del área de estudio donde se aprecia el espesor de sedimentos que sobreyacen al basamento cristalino (fracturado), con los valores de conductividad hidráulica incorporados al modelo para cada sección. El color blanco corresponde

con capas de sedimento donde (comparativamente con las capas en azul) se tiene un valor sensiblemente mayor de conductividad hidráulica dado el tipo de procesos de sedimentación esperados; el verde al basamento cristalino.

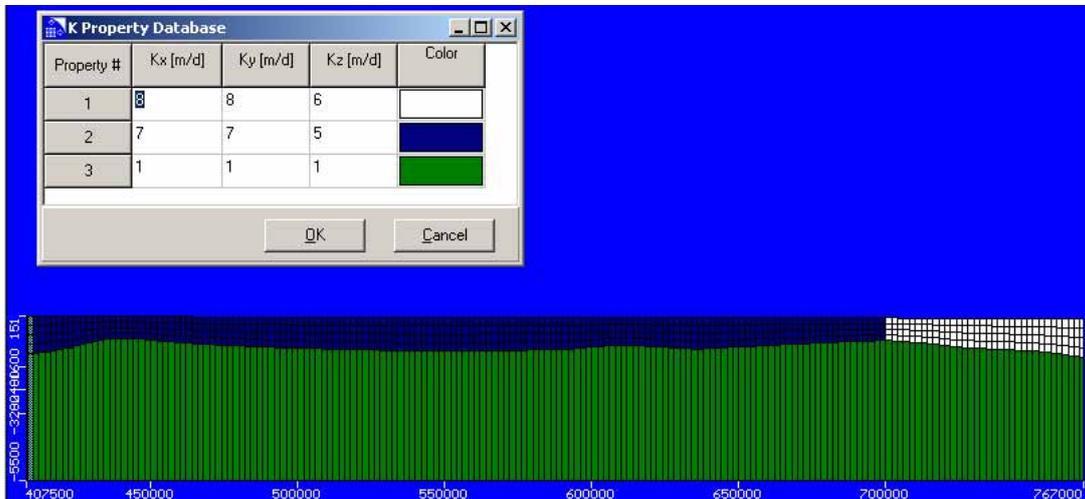


Figura 4.103 Corte transversal oeste-este del área de estudio mostrando los valores de conductividad hidráulica asignados

En la Figura 4.104 se presenta un corte transversal para las diversas unidades litológicas del área de estudio, a las cuales se les ha asignado los valores indicados para el coeficiente de almacenamiento.

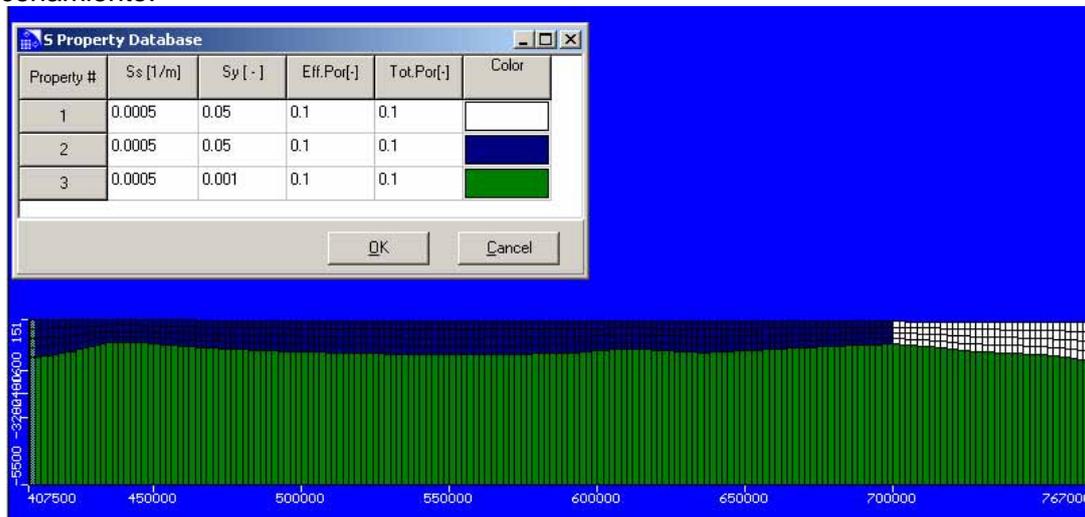


Figura 4.104 Corte transversal oeste-este del área de estudio mostrando la distribución asignada de coeficiente de almacenamiento

Entradas verticales.- Las corridas realizadas con el modelo MODFLOW permitieron establecer el comportamiento de la superficie freática bajo diferentes condiciones de recarga y evapotranspiración potencial. Esta superficie no sufrió cambios significativos al incrementar el valor de la recarga, debido a esta falta de respuesta del sistema se adicionaron fuentes de entrada vertical ascendente de agua utilizando cargas del tipo GHB, que implican que la entrada de agua se genera en una cuenca vecina.

En efecto, lo anteriormente indicado se aprecia de la comparación de la Figura 4.105, con la superficie freática observada sin recarga adicional, y la Figura 4.106, con superficie freática con

recarga máxima de hasta 500mm. Este valor excede al incremento medio anual de lluvia estimado en 24% debido al aumento medio de la precipitación de 700mm a 1,000mm (tal como se analiza en punto 4.1). Así, el efecto de una recarga de hasta 500mm anuales reproducida por el modelo no muestra una respuesta significativa en la superficie freática de 1974. Notar que las curvas de la superficie freática (Figura 4.105) siguen sensiblemente las curvas topográficas de valor similar, esto sugiere una íntima relación entre el agua subterránea y los cuerpos de agua superficial.

Se destaca, que en la bibliografía internacional se indican valores de recarga natural, medidos o estimados, correspondiente al 10-30% de la precipitación anual, en sistema de material granular como en el área del presente estudio. Por lo que es poco probable que ocurra en la provincia de Buenos Aires una recarga del orden del 50% de la precipitación. Sin embargo, ni aplicando este valor de recarga en el modelo se observan elevaciones en la superficie freática, tal como se observan en campo en los sitios inundados (Tabla 4.38).

Se deduce entonces que una parte importante de la entrada de agua subterránea en el área de estudio es derivada de flujo vertical ascendente desde profundidad, ya que al aplicar las cargas, *General Head Boundaries* (punto.3.4.2.3), la superficie freática se eleva a las condiciones observadas a campo.

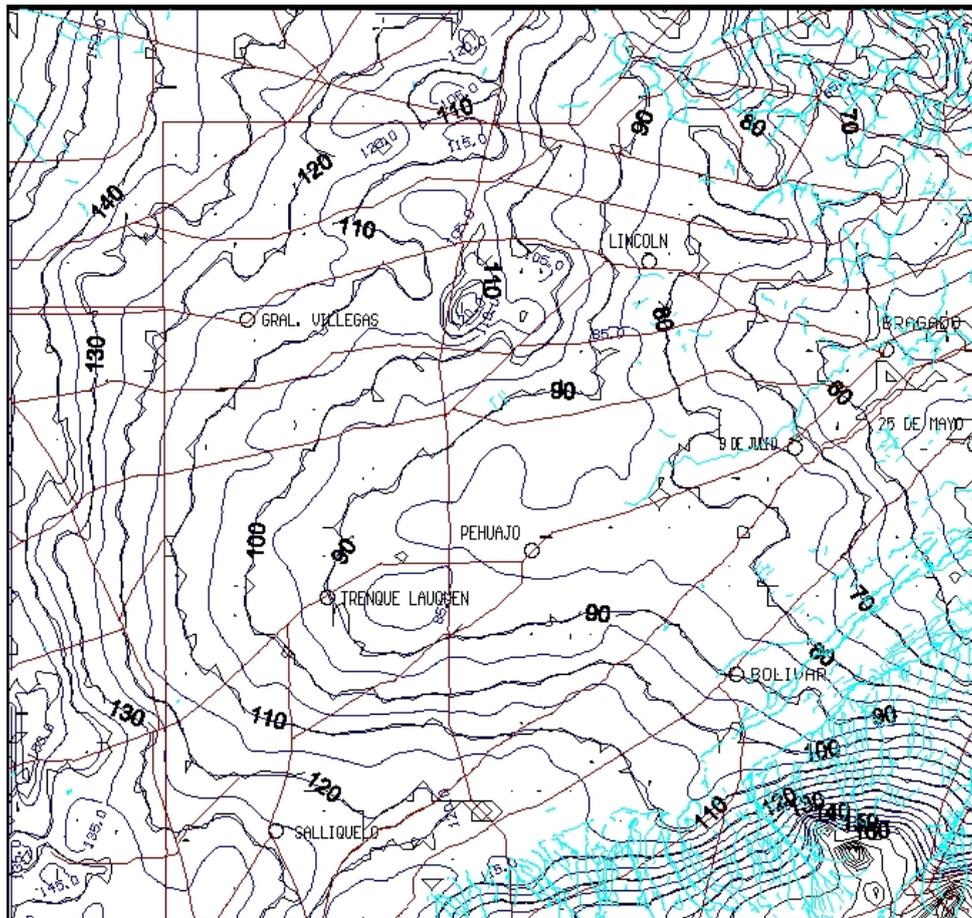


Figura 4.105 Superficie freática del área de estudio (1974) antes de incorporar diversos valores de recarga- Valor de elevación de curva topográfica (10m de intervalo) sin punto decimal; elevación de la superficie freática (5m de intervalo) con punto decimal (en msnm).

Las líneas rojas de la Figura 4.106 representan la elevación de la superficie freática después de haber sido el sistema afectado por una recarga anual de hasta 500mm. Es de hacer notar que el efecto de esta recarga en la superficie freática no se manifiesta con una elevación de ésta que repercuta en la presencia de zonas inundadas o del aumento observado en campo (y reportado) de la superficie cubierta con agua. Los cambios que en las curvas que se pueden identificar no son de la magnitud suficiente para justificar una inundación.

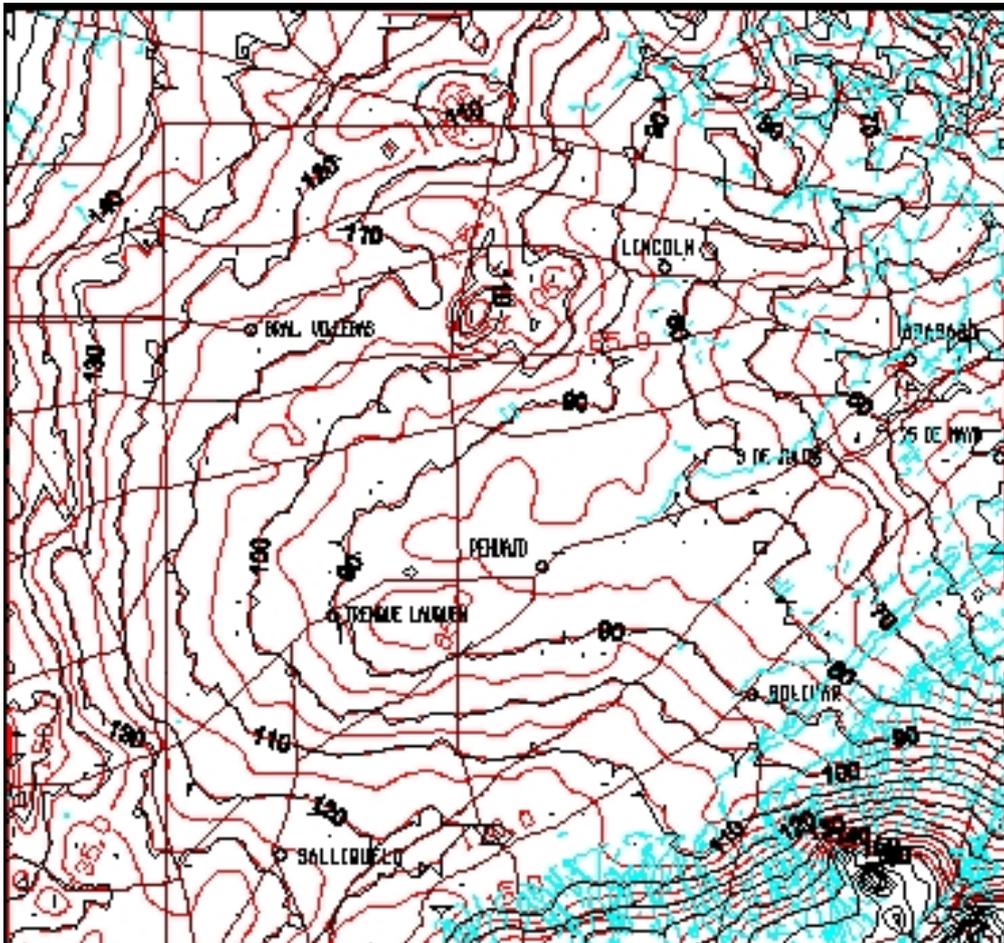


Figura 4.106 Respuesta de la superficie freática del área de estudio después de ser afectada por 500mm anuales de recarga- Equidistancia topográfica 10m y de elevación de la superficie freática en rojo, 5m (en msnm).

Las Figuras 4.111 y 4.112 presentan sendos cortes transversales del área de estudio, y las condiciones de frontera de carga general (*General Head Boundaries*, celdas en verde) consideradas en la modelación (hacia el oeste, continente y hacia el este el océano Atlántico). Esta condición de frontera se define como el efecto combinado producido por una carga conocida (o inferida) que se localiza a una distancia de magnitud regional, ésta es definida por la diferencia entre la carga regional y la carga en el centro de la celda de frontera. En este caso define un flujo de entrada vertical ascendente hacia el área de estudio proveniente de un sistema regional. Así, el valor 120 que se consiga en Figura 4.106, es el valor de la carga que se manifiesta en las celdas bajo una conductancia de 200 (valor que se vincula con la distancia, m; conductividad hidráulica, m/d; y la porosidad, m^3/m^3).

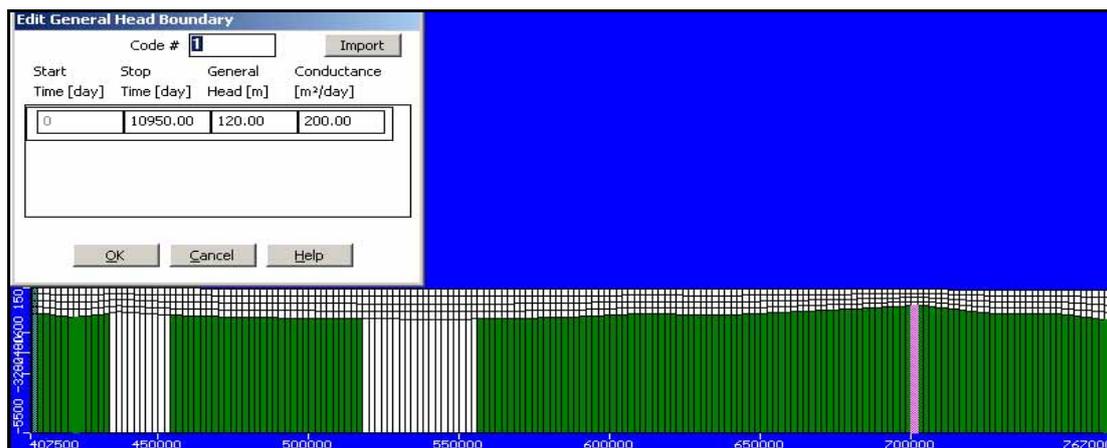


Figura 4.107 Corte transversal oeste-este a través del área de estudio mostrando las condiciones de cargas GHB

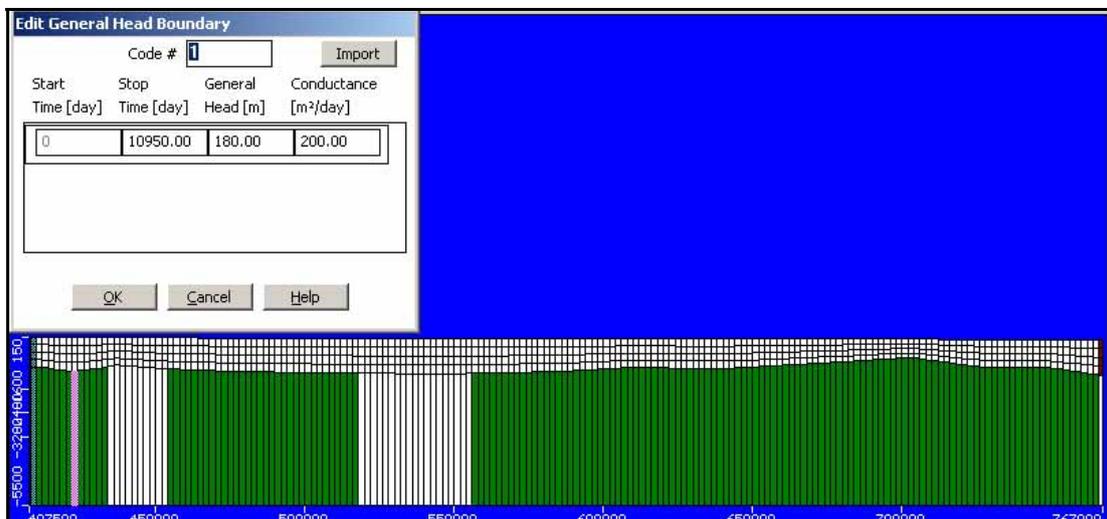
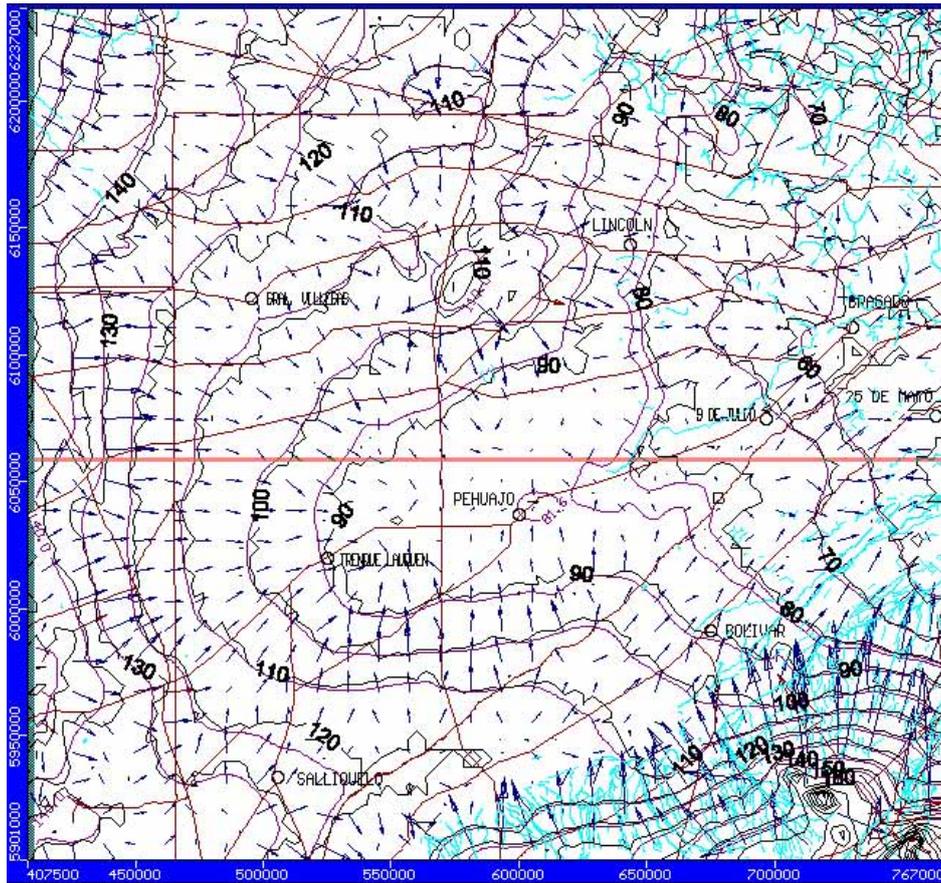


Figura 4.108 Corte transversal oeste-este del área de estudio mostrando condiciones de carga GHB

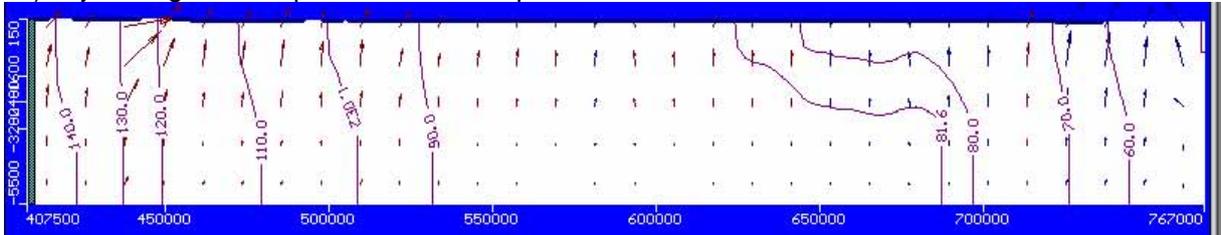
Modelación matemática del flujo subterráneo.- Los trabajos de modelación incorporan las condiciones geológicas para el área de estudio, se incluye la distribución y espesor de las diferentes capas sedimentarias identificadas en la literatura, las cuales yacen sobre una unidad de cuarcita y granito fracturado (punto 2.1.2). El valor de los parámetros hidráulicos incorporados (Tabla 2.2) constituye el reportado por diferentes autores y que corresponden en esencia con las características litológicas de las capas modeladas. La superficie freática a partir de la cual se modeló la respuesta a diferentes condiciones de recarga fue la reportada para 1974, lo cual se realizó para establecer la respuesta de la superficie freática a varios escenarios de recarga.

Dirección y magnitud del flujo de agua subterránea

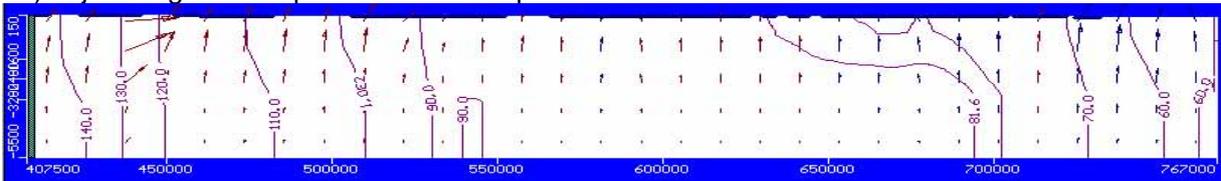
En la Figura 4.109: se presenta a) en planta la dirección y magnitud del flujo de agua subterránea y en b) un ejemplo de corte transversal en dirección este-oeste, en el sector de la línea rosa que se indica en imagen en planta (a), para tres períodos de esfuerzo hídrico: b1) 10 años, b2) 20 años, y b3) 30 años.



b1) flujo de agua en el plano vertical después de 10 años de esfuerzo hídrico.



b2) flujo de agua en el plano vertical después de 20 años de esfuerzo hídrico.



b3) flujo de agua en el plano vertical después de 30 años de esfuerzo hídrico.

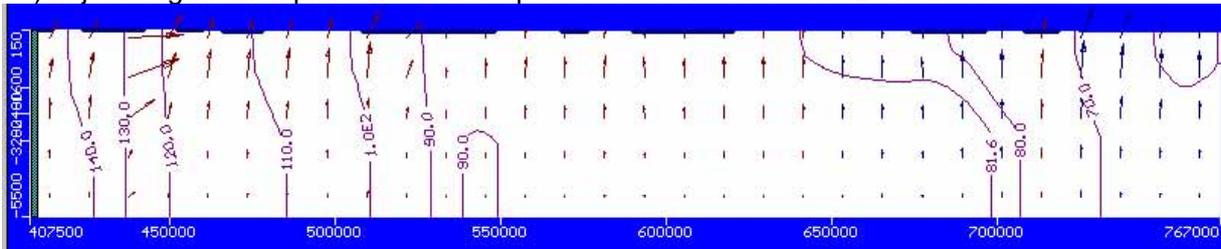


Figura 4.109 Flujos de agua subterránea: a) vista en planta, velocidad de dirección del flujo subterráneo en el plano horizontal; b) corte transversal oeste-este correspondiente a línea rosa indicada en a); en b1) para 10 años, b2) para 20 años, y b3) para 30 años de esfuerzo hídrico

En esta Figura 4.109 la dirección y magnitud del flujo de agua subterránea se indica con flechas de color azul, las cuales muestran que el área de estudio tiene *comunicación hidráulica subterránea hacia el oeste y norte* lo que permite en estos sitios la entrada de agua subterránea; el límite sur manifiesta cargas constantes (flujo paralelo a la frontera del área) que proponen que esa parte del área, la serranía de Tandil, no sea de entrada o salida del flujo; esto es contrario a lo que sucede con el límite este, el cual manifiesta que es de salida de agua subterránea. La dirección de flujo que prevalece es de oeste a este, y también, la forma centrípeta que toma la dirección del flujo en varios sectores. Así, el partido de Pehuajó y Trenque Lauquen reciben agua de diferente dirección, siendo el centro de recepción de muchas áreas aledañas. Esto explica la presencia de agua en exceso en superficie, y que no se corresponda con la precipitación acaecida en fechas próximas, tal como se analizó en detalle en punto 4.2.3, sobre análisis multitemporal de imágenes satelitales.

En la Figura 4.109(b1-3), se manifiesta claramente la importancia de flujo vertical ascendente que se genera en el área de estudio, el cual es resultado de la presencia de flujos regionales que se inician más allá de los límites del área estudiada. Asimismo, en esta figura se observa además el aumento de la magnitud del empuje de abajo hacia arriba (manifiesto en el tamaño de los vectores) conforme transcurre el tiempo de esfuerzo hídrico (10 a 30 años).

Esto concuerda con la ausencia de correspondencia indicada en muchas de las imágenes satelitales entre la superficie con agua y la precipitación acaecida (punto 4.2.3), siendo más claramente establecido en las imágenes satelitales históricas (punto 4.2.3.3). En estas últimas, se observan superficies cubiertas de agua sin que haya habido precipitación elevada por largo tiempo (punto 4.1).

Tal como se indica en la bibliografía, la región recibe agua proveniente del sur de Córdoba, a través principalmente del Río Quinto, y en menor medida desde el sur de Santa Fe donde se encuentra ubicada la Laguna La Picasa, de donde también se presupuso provenía agua de inundación al área de estudio (punto 2.1, punto 2.2 sobre antecedentes del área e inundaciones; Figuras 2.2 y 2.36 sobre ubicación de estos ambientes). De acuerdo con la topografía y la distribución de las curvas de la superficie freática, es de esperar que haya entrada de agua de esa parte el territorio.

Si bien, si bien MODFLOW posee la restricción de no incorporar la variación de la densidad del agua, ya que sólo incorpora flujo de agua a una temperatura (21° C), en el área de estudio, al tener una estratificación manifiesta de agua con diferente densidad (agua fría que se mueve sobre agua caliente) los resultados obtenidos con esta modelación indican que es *altamente factible la presencia del empuje de agua vertical ascendente por diferencia de densidad*, el cual se manifiesta en *ascenso de la superficie freática* a consecuencia de la entrada de agua desde profundidad como lo sugiere también la calidad química del agua de las lagunas (4.4.1).

CONCLUSIONES DE MODELACIÓN CON MODFLOW

Los resultados de la modelación con MODFLOW para el comportamiento del flujo de agua subterránea sugieren que:

- el área de estudio tiene *comunicación hidráulica subterránea hacia el oeste y norte* lo que permite la entrada de agua subterránea; el límite sur manifiesta cargas constantes que proponen que esa parte del área, la serranía de Tandil, sea de no-entrada y no-salida, contrario a lo que sucede con el límite este, el cual manifiesta que es de salida de agua subterránea,

- una vez que se llevó el modelo a reproducir la *superficie freática de 1974*, se usó un valor de recarga adecuado con el *24% de incremento de la precipitación anual* reportada para la región (700mm a 1,000mm, punto 4.1). La respuesta del efecto de una recarga de este monto al modelo no fue significativa, esto es la *superficie freática no ascendió*. Así en el trabajo de modelación se usó un valor anual de recarga con un máximo de hasta 500mm, valor que al aplicarse al área de estudio tampoco muestra el incremento observado en la elevación de la superficie freática como para producir los sitios inundados observados en campo,
- la *superficie freática sólo asciende* a niveles observados en campo cuando se usa una entrada de agua adicional por medio de la aplicación de cargas denominadas *General Head Boundaries* (punto 3.4.2.3) lo que se traduce en que una parte importante de la entrada de agua subterránea en el área de estudio es derivada de flujo vertical ascendente desde profundidad,
- si bien el MODFLOW posee la restricción de no incorporar la variación de la densidad del agua, ya que sólo incorpora flujo de agua a una temperatura, en el área de estudio, al tener una estratificación manifiesta de agua con diferente densidad (agua fría que se mueve sobre agua caliente que viaja a profundidad), es *altamente factible la presencia de un empuje de agua vertical ascendente atribuible a esta diferencia de temperatura y densidad en sentido vertical*, el cual se manifiesta en *ascenso de la superficie freática*, tal como lo sugiere la calidad química del agua de las lagunas (4.4.1),
- las unidades (cuarcita y granito) que contienen a las unidades granulares muestran un aporte de agua con dirección vertical ascendente lo que avala los resultados encontrados por el estudio de hidrogeoquímica (4.4.1)
- otro resultado que se desprende como consecuencia de las investigaciones realizadas con MODFLOW es que la *hidrología del área* de estudio *depende* primordialmente de la *entrada de agua que se genera por fuera de sus límites administrativos*.

CONCLUSIÓN GENERAL DE PUNTO 4.4

- Se concluye respecto a la modelación hidrogeoquímica y del flujo subterráneo con MODFLOW, que ambos procedimientos de análisis de funcionamiento del agua en el área estudiada en el noroeste bonaerense permiten afirmar que la elevación de la superficie freática se produce por empuje de agua por debajo del sistema analizado, y que no existe aporte lateral de agua superficial entre lagos y lagunas que justifiquen el ascenso del nivel de sus aguas.
- El movimiento del agua se produce desde la zona de recarga de flujos locales e intermedio hasta su zona de descarga, estas últimas usualmente en lagunas de Buenos Aires, que es donde es factible que exista mezcla del agua de estos flujos.
- La hidrología del área de estudio depende primordialmente de la entrada de agua que se genera fuera de sus límites administrativos.

4.5 Identificación de zonas de descarga y recarga

Desde la perspectiva de los sistemas de flujo las **zonas de descarga** son las que presentan mayor grado de factibilidad en su adecuada identificación, ya que éstas por un lado permanecen a través del tiempo como sitios que permiten su evaluación. En lo particular las zonas de descarga se caracterizan por tener morfología plana, suelo salino y/o alcalino, comunidades vegetales salinas, alcalinas y/o hidrófila; nivel freático somero, agua subterránea salina con bajo Eh y alto pH, presencia de cuerpos permanentes de agua (lo que implica, por ejemplo, un cuerpo de agua o un río perenne). Estas condiciones corresponden en esencia con muchos de los elementos observados en el área de estudio, en particular quedan manifiestas por las lagunas, el Río Salado, los suelos salino-sódico identificados, así como los sitios donde se tiene agua subterránea somera.

Estas condiciones se hacen más evidentes al observar que los flujos que se manifiestan a través de dichas condiciones de descarga son **flujos de tipo intermedio**, que se pueden diferenciar de los locales porque tienen una mayor distancia y profundidad de recorrido que les confiere una salinidad más elevada, un contenido mayor de sodio y cloruro, un pH más alcalino y menor contenido en oxígeno que aquellos.

En forma adicional se tienen otros conceptos identificados que permiten ratificar la presencia de zonas de descarga de sistemas intermedios principalmente, por ejemplo las condiciones químicas de cambio de las facies químicas del agua subterránea que *evolucionan desde aquella de tipo bicarbonatada hasta aquella donde el agua tiene un contenido de sales donde prevalece el cloruro y sodio*; otra evidencia lo constituye el caudal de agua que continuamente se descarga por el cauce del Río Salado, cuyo contenido en STD es del orden de hasta 17,000mg/l, valor que es similar a la Laguna Las Tunas para la que se reportan 16,531mg/l de STD.

Asimismo, existe otro concepto que avala la presencia de **zonas de descarga de tipo difuso** en, por ejemplo, el fondo de las lagunas donde dicha descarga está referida a la mezcla de agua identificada en Epecuén, El Recado, Las Tunas y Murphy con un por ciento de descarga del orden de 45, 12, 9 y 6, respectivamente, identificados por medios químicos (punto 4.4.1). Contribución que puede elevarse sensiblemente si se considera que para calcular la mezcla se tomó como agua de posible entrada vertical a un flujo con 127,000mg/l de STD, agua que posee una temperatura del orden de 75-80°C (localizada en Los Gauchos, localidad de Villalonga); temperatura que no se ha detectado en los estudios de campo ni ha sido reportada en estudios que se han realizado en los lagos del área de estudio. Esto sugiere que el agua de posible influencia debe ser tanto de menor salinidad como temperatura al flujo captado en Los Gauchos.

La *descarga de flujo regional no fue identificada en el área de estudio* por lo que es conceptualmente factible establecer que ésta se tiene presente en localidades vecinas en el Océano Atlántico, lo cual parece ser avalado por la riqueza pesquera que se ha desarrollado e identificado en esa región vecina en la costa atlántica Argentina.

Las **zonas de recarga** que han sido claramente identificadas en el presente trabajo están relacionadas con **flujos de tipo local** las cuales corresponden con la parte alta de las dunas donde se tiene suelo de tipo arenoso, carencia de características de salinidad en el suelo, relativa profundidad de la superficie freática y calidad del agua con relativa baja salinidad y baja temperatura así como un contenido mayor de oxígeno. Las *zonas de recarga de los flujos de tipo intermedio que descargan en forma difusa*, se encuentran fuera de los límites del área de interés y su identificación requerirá de estudios adicionales de hidrología isotópica, en especial de carbono 14 y 13, en forma conjunta con un análisis hidráulico de velocidad del flujo subterráneo que permita identificar la distancia a la que se da dicha recarga.

Los estudios geoquímicos realizados sugieren que las zonas de recarga identificadas en las partes altas de las provincias de Mendoza y San Luis no son correspondientes o aportan agua a las zonas de descarga en el área de estudio, como se conceptualiza con el análisis de los sistemas de flujo, se considera que esas descargas se localizan en más allá de la costa Atlántica.

A continuación se indican las zonas de recarga y descarga, y flujos detectados:

- En la *provincia de Buenos Aires*, se identificaron:

i) *zonas de descarga* de flujo local (1, 2, 17, 26); de flujos intermedios (20, 24, 25, 28, 33, 34, 40, 41, 46, 50); y de mezcla de flujos local e intermedio (13, 38, 39, 42, AC43, 44, 45, 51)

ii) *zonas de tránsito* de flujo local (16, 18, 21, 29, 31, 32, 36); de flujo intermedio (14, 15, 22, 23)

iii) zonas de recarga de flujo local (19, 27, 30, 35, 37, 49)

- En la provincia de Mendoza se identificaron:

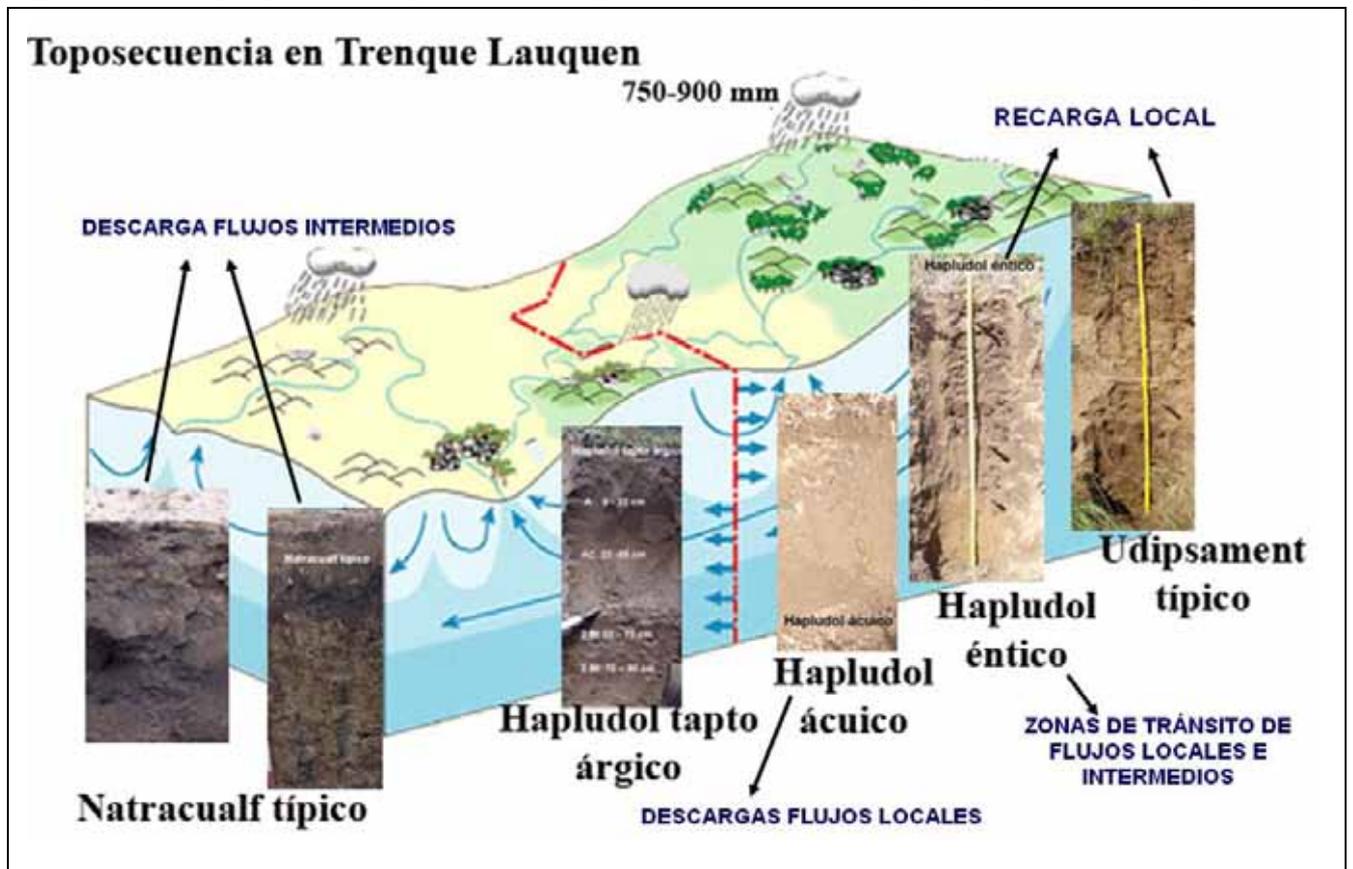
- i) zona de descarga de flujo local (5)
- ii) zonas de tránsito de flujo local (4, 6, 7)
- iii) zona de recarga - descarga local (8)

- En la provincia de San Luis se identificaron:

- i) zona de descarga de flujo local (10)
- ii) zona de recarga- descarga de flujo local (11)
- iii) zona de recarga de flujo local (9)

En la Figura 4.110 se presenta un ejemplo general de toposecuencia entre Mari Lauquen (ambientes más altos) y Berutti (ambientes más bajos), ambas localidades de Trenque Lauquen indicando zonas y sistema de flujo, identificadas en punto 4.4.1.

Figura 4.110 Ejemplo de toposecuencia general entre Mari Lauquen y Berutti, Trenque



Lauquen, indicando zonas y sistema de flujo.

4.6. Análisis socio-económico de actividades productivas

En punto 2.1.7 de antecedentes relativos a las características socio-económicas del noroeste de la provincia, se presentaron las principales actividades productivas, la estructura y organización de empresas agropecuarias, implicaciones socioeconómicas de inundaciones y sistemas productivos, y potencialidades y limitaciones al desarrollo regional. Del análisis de estos antecedentes así como de las características ambientales que se analizan en la presente tesis

(puntos 4.1, 4.2, 4.4, y 4.5), se estableció la factibilidad técnica de alternativas tecnológicas productivas, y además se evaluó la factibilidad económica, siguiendo los procedimientos indicados en 3.5.

De los antecedentes se destaca que la región se caracterizó hasta el comienzo del ciclo húmedo en la década de los 1970's, por ser una zona típica ganadera de invernada. Posteriormente, debido al aumento de precipitación y situación económica del país, condujo a una intensificación de la actividad ganadera y una incorporación de la agricultura (hecho conocido como *agriculturización*). Actualmente, el noroeste de la Provincia de Buenos Aires es *agrícola-ganadero* con predominio de cultivos de verano, y *ganadero-agrícola* con predominio de invernada y ciclo completo, siendo también importante la producción láctea. Si bien, como se analizó en antecedentes, esto mejoró inicialmente el resultado económico, aumentó los márgenes de rigidez y el riesgo empresarial al ser los sistemas poco flexibles, principalmente por la alternancia entre sequía e inundación. Por lo cual, se tienen serias dudas sobre la continuidad de los sistemas productivos actuales ante la fuerte caída del ingreso, enorme pérdida económica ante situaciones climáticas extremas, y fragilidad de los ecosistemas (PMI, 1999; Paoli y Giacosa, 2003a; García, 2003; MAA, 2007).

Se destaca además, que las prácticas de conservación de suelo, tal como la siembra directa, en la región del noroeste han sido menos adoptadas que en el resto de la provincia, y que los sistemas ganaderos tienen grandes limitaciones (sanitarias, manejo forrajero, nutricionales, entre otros), aspectos todos estos de manejo que en ambientes frágiles, con suelos susceptibles a la erosión, poco evolucionados, y características climáticas extremas, conducen a sistemas escasamente sustentables en términos ambientales, productivos, económicos y sociales.

Consecuentemente, en función de las características climáticas (punto 2.1.5), edáficas (punto 2.1.3), productivas, económicas y sociales de la región (punto 2.1.7), se aprecia en coincidencia con lo indicado desde diferentes ámbitos científicos y técnicos la necesidad de implementar esquemas productivos que diversifiquen la producción y se ajusten a las condiciones ambientales imperantes en plazos de tiempo prolongados, evitando acciones productivas coyunturales, que aunque adecuadas bajo determinadas circunstancias, conducen a una degradación del ambiente, y fracaso de la empresa agropecuaria en el mediano a largo plazo, dependiendo esto principalmente de la superficie, y solvencia económica de los establecimientos productivos.

Se consideró además para la ***selección de prácticas y recomendaciones*** para el área de estudio, el punto 2.3 (sobre manejo de la vegetación y suelo, influencia con el agua subterránea). Aquí, se realiza una síntesis de las mismas, y como se indicó en materiales y métodos, *a partir de los antecedentes presentados*, considerando en forma especial el punto 2.1.7.4 sobre potencialidades y limitaciones al desarrollo regional, principalmente aquellas referidas a los aspectos sociales, que son en definitiva las que hacen efectivo el manejo adecuado del resto de las variables del paisaje, se realizaron los análisis económicos presentados en punto 4.6.2 y 4.6.3 de este apartado.

4.6.1. Recomendaciones para el área basadas principalmente en el análisis socio-económico y ambiental presentado en antecedentes

a) Mejorar y ajustar al ambiente los sistemas productivos actuales

- *Implementar técnicas de manejo y uso de especies herbáceas* conforme se describe en punto 2.3 sobre manejo de la vegetación y suelo, e influencia del agua subterránea. Dentro de este, en punto 2.3.1.1 se analiza el efecto de las prácticas de manejo sobre zonas de recarga o descarga de agua subterránea, y en punto 2.3.2 experiencias en la Argentina. Asimismo, dentro

de este último punto, en 2.3.2.1 se dan pautas detalladas de manejo de la cobertura vegetal herbácea, pastizal natural y pastura, indicándose especies forrajeras apropiadas para cada ambiente, y el manejo a realizar. Al respecto, considerar resistencias de las especies vegetales a la salinidad, alcalinidad (Tabla 2.13, 2.14, y 2.15) y resistencia al anegamiento (Tabla 2.16), así como su capacidad para aprovechar agua freática, aspectos estos que se describen en el punto 2.3.2.2 relativo a los cultivos que toman agua de la superficie freática, profundidad crítica de la superficie freática y profundidad efectiva de los suelos, a fin de definir especies aptas e idóneas para un ambiente dado.

- *Para las especies capaces de aprovechar el agua freática*, definir los ambientes, idóneos para su implantación, no sólo por sus características edáficas actuales, en relación con su salinidad y alcalinidad, sino también sobre la persistencia de estas propiedades. Así, si un sector se corresponde con la descarga de agua subterránea, establecer si proviene de flujos local, intermedio o regional (punto 4.4 y 4.5) ya que si las propiedades edáficas son producto de la influencia de un flujo regional, la salinidad y alcalinidad será de tipo permanente o más difíciles de compatibilizar con el desarrollo de cultivos. Por el contrario, si un suelo es salino o alcalino por razones vinculadas a inundaciones o manejo inadecuado del ganado o cultivo, y el flujo es local, muy posiblemente será factible revertir o controlar esta situación con un adecuado manejo. Las principales especies herbáceas capaces de tomar agua de la freática, y apropiadas para la región, son *Glycine max* (soya); *Helianthus annuus* (girasol) y *Medicago sativa*, (alfalfa) (punto 2.3.2.2).

- *Realizar un manejo de los cultivos conforme a prácticas que garanticen máximos rendimientos y conservación del ambiente*. Así por ejemplo, el cultivo de soya no obstante su alta resistencia y adaptación a diferentes ambientes, resulta económica y ambientalmente apropiado implantarlo realizando un manejo del mismo ajustado a las características del ambiente, tal como recomienda Diaz-Zorita (2000), Baigorria (2004) entre otros autores citados en punto 2.3.2.2, y conforme a punto 4.5, sobre las zonas de recarga y descarga.

- *manejo de los cultivos herbáceos en forma combinada con especies arbóreas*, tal como se analiza a continuación.

b) Implementación de opciones productivas, forestación y sistemas silvopastoril

En punto 2.3.2.2 se describen las posibles plantaciones forestales, las potencialidades ambientales, productivas, económicas, y sociales. De lo analizado en este punto de antecedentes (2.3.2.2) y en punto 2.1.7.4 sobre potencialidades y limitaciones al desarrollo regional, resulta apropiado plantear a la forestación dentro del esquema productivo agropecuario argentino actual, debiendo para esto analizarse lo que a continuación se indica: *i) especies a implantar; ii) sitios en los cuales deben implantarse, iii) restricciones ambientales de la forestación y iv) actividades complementarias, específicamente la ganadería en sistemas de silvopastoreo*, aspectos todos que fueron analizados en antecedentes en punto 2.3.2.2.

En el punto 2.3.1.4., se analiza la implantación de árboles como técnica reconocida para el control de la superficie freática, bajo el término de **Bio-drenaje**. Se indican los principios de esta técnica, experiencias, y recomendaciones, así como la magnitud y tiempo de cambio de la superficie freática como consecuencia de su implementación. Por último para este tema, se destaca que en el punto 2.4.3 se analiza la relación entre ecosistemas y agua subterránea.

c) Incorporación de la acuicultura en esquemas tradicionales agrícola-ganaderos

Se destaca lo indicado al respecto en punto 2.1.6, relativo a ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos. Específicamente, en el punto 2.1.6.6 se analiza la potencialidad productiva y económica de las lagunas.

Se destaca al **cultivo de pejerrey** (*Odontesthes bonariensis*) como alternativa productiva factible en términos ambientales, económicos y sociales. Esta es la especie dulceacuícola de mayor importancia en la Provincia de Buenos Aires. Su pesca se efectúa tanto con fines comercial como deportivo y se encuentra reglamentada en la Ley provincial de pesca N° 11.477 del año 1995, realizándose además, bajo pautas establecidas por la Autoridad de Aplicación Provincial (Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires) basadas en el conocimiento preexistente y en estudios de caso, tal como describen Colautti *et al.* (2002). Sin embargo, con base en los antecedentes, y en la potencialidad que la actividad tendría en la región e incluso en el país, así como otros peces tal como se detalló en punto 2.1.6, resulta necesario adecuar las medidas de manejo a situaciones particulares y fomentar el desarrollo comercial de la actividad. Este aspecto de la pesca se analiza en punto 4.6.3.

4.6.2. Resultado económico de implementar forestación y sistemas silvopastoreo, comparados con esquemas productivos tradicionales de la región noroeste

Tal como se detalla en materiales y métodos (punto 3.5) se seleccionaron especies arbóreas exóticas y nativas, cuyas ventajas y desventajas, son analizadas en punto 2.3.2.2. Los esquemas agrícola-ganaderos analizados, como se indicó en punto 3.5, son representativos del área de estudio e incluyen diversas alternativas (rotación agrícola-ganadera) en función del tipo de suelo.

Resultados de la actividad agrícola ganadera

Margen Bruto (MB) de cultivos agrícolas

Es de destacar que el doble cultivo trigo/soya es el que presenta mayor MB para los dos rendimientos considerados. Los cultivos de verano, presentan mejores resultados con excepción del maíz, lo que se relaciona con la mayor precipitación en los meses de verano-otoño (febrero- abril). Así, en el PMI (1999) se estima, en suelo con capacidad de retención entre 50-200mm de agua útil, se produce el siguiente déficit de humedad: maíz 104mm, girasol 49mm, soya 76mm, y trigo 47mm de agua, siendo sólo la soya de segunda, el único que no presenta déficit hídrico. Esto último, y el realizar dos cultivos en un ciclo productivo, explica el resultado favorable de trigo/soya.

En la Tabla 4.55 se resume el Margen Bruto (MB) de cultivos agrícolas en *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico*, y se indican el rendimiento medio de la región.

El *Hapludol éntico* y *Haplustol éntico* tienen muy escasa retención hídrica, presentan una susceptibilidad entre moderada a severa a la sequía. Consecuentemente, podrían producirse déficit hídricos aún mayores que los indicados precedentemente, y asociado a esto, menores rendimientos y menor MB.

Tabla 4.55 Márgenes Brutos de Cultivos Agrícolas

	Rendimiento (kg/ha) (a)	MB (US\$/ha)	Rendimiento (kg/ha) (b)	MB (US\$/ha)
Maiz	4,800	89	7,700	228
Trigo	2,400	95	2,900	133
Girasol	1,440	122	2,300	255
Soya	1,800	115	2,800	254
Trigo/Soya 2º	2,600/1,600	197	2,900/2,000	298

(a) en *Haplustol* y *Hapludol éntico*, (b) valor promedio regional.

Si bien para toda la región, el rendimiento depende de la oportunidad de la precipitación, en estos suelos la dependencia es aún mayor, en consecuencia, adquiere gran relevancia el manejo del cultivo. Así, para la región se señalan diferencias de hasta 100mm de agua edáfica a la siembra de girasol según el cultivo antecesor (con maíz 270mm, pasturas secadas tardíamente 187mm; verdeo de invierno 214mm) (Díaz-Zorita, 2000).

A modo de ejemplo, se presenta el detalle realizado en la elaboración del MB del cultivo de trigo (Tabla 4.56), con rendimiento en trigo de 3,399kg/ha. Se aprecia la alta variabilidad en el resultado económico en función del rendimiento, el cual a su vez depende de las condiciones climáticas, suelo, y manejo adaptado a las condiciones ambientales. Estos suelos requieren prácticas conservacionistas y la ocurrencia oportuna de precipitación para alcanzar los rendimientos indicados (Tabla 4.55).

Tabla 4.56 Ejemplo de margen bruto en cultivo de trigo para la región del noroeste

MARGEN BRUTO TRIGO	Unidad	Cantidad	\$/100	\$argentino/ha	US\$/ha USA
INGRESO BRUTO	kg/ha	3,399	36.68	1,246.85	415.62
Total Gastos Comercialización	%I.B.	18%		221.94	73.98
Total Gastos Cosecha	%I.B.\$/ha	8%		99.75	33.25
INGRESO NETO				925.16	308.39
Unidades de Trabajos Agrícolas	UTA	3.5	47.40	165.90	55.30
Semilla	kg/ha	130	0.56	72.31	24.10
Herbicidas Aplicación	Número	0			
Herbicidas	Costo			0.00	
Insecticidas Aplicación	Número	0			
Insecticidas	Costo			0.00	
Fertilizantes Aplicación	Número	1			
Urea	kg/ha	80	1.09	87.51	29.17
PDA	kg/ha	-	1.09	0.00	
GASTOS DIRECTOS	\$/ha			325.72	108.57
MARGEN BRUTO	\$/ha			599.44	199.81

Asimismo, tal como se indicó en la introducción, la región se caracteriza por la alternancia entre inundación y sequía, así desde 1970 (inicio de ciclo húmedo), las inundaciones fueron en: 1973, 1985, 1986, 1987, 1993, 1998, 1999, 2000, y 2001. En estos eventos, aún sin que afecte directamente el cultivo, tal como ocurre en las lomas, se producen pérdidas generalizadas por la imposibilidad de cosechar, transportar, acondicionar y almacenar el grano.

Las pérdidas fueron cuantiosas, y los efectos sociales devastadores, con grandes migraciones hacia centros urbanos por pérdida de fuentes de trabajo. Así, por ejemplo, la inundación de 1993, generó pérdidas agrícolas próximas a \$150US millones (PMI, 1999). En relación con los años con sequía, desde el año 1970, se dan en los años 1977, 1978, 1979, 1980, 1988, 1989, 2003, y 2005.

Margen Bruto (MB) de ganadería

Los valores de MB Ganadero anual (US\$/ha/año) para condiciones productivas medias de la región fueron \$55US/ha/año para **cría**, \$124US/ha/año para **invernada**, \$82US/ha/año para **ciclo completo**. Los MB de actividad agrícola duplican y hasta cuadruplican los correspondientes a ganadería.

Tabla 4.57 Ejemplo de margen bruto en ganadería de invernada para la región del noroeste (todos los valores en USD/ha)

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
TOTAL Ingreso Neto	556.87	526.70	468.41	554.14	556.87	556.87	556.87	556.87	556.87	556.87
Agroquímicos	4.35	4.29	3.95	4.34	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
Semillas	7.04	4.70	4.70	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04	7.04
Fertilizantes	4.19	2.80	2.80	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19
Agroquímicos	3.40	2.27	2.27	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
Silaje	12.57	8.39	9.79	13.97	13.97	13.97	13.97	13.97	13.97	11.76
Cuidados pasturas	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90
Suplementación	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	5.72	0.00
Comercialización	65.39	63.25	58.40	65.13	65.39	65.39	65.39	65.39	65.39	65.39
Compras de stock	363.41	329.68	361.63	363.41	363.41	363.41	363.41	363.41	363.41	363.41
Labor	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
TOTAL Gasto directo	473.2	428.2	456.4	474.3	474.6	474.6	474.6	474.6	474.6	466.7
MB US\$/ha	83.7	98.5	12.0	79.8	82.3	82.3	82.3	82.3	82.3	90.2

En Tabla 4.57 se presenta un ejemplo de MB Ganadero en invernada. Al igual que lo señalado para agricultura, el resultado económico en la actividad ganadera varía marcadamente por el manejo incorrecto que se realiza, tal como se menciona en antecedentes, disminuyendo el rendimiento en carne anual e incrementando los costos, principalmente sanitarios y de reserva forrajera.

Resultados económicos de rotaciones agrícolas y ganaderas propuestas

En la Tabla 4.58 se presenta el *Valor Actual Neto* y *Renta Anual* en US\$ por hectárea para las diferentes rotaciones agrícolas y ganaderas propuestas, las que fueron descritas en materiales y métodos (situaciones 1 a 6) para un lote de 100ha y en establecimientos de 400ha.

Tabla 4.58 Valor Actual Neto y Renta Anual en diferentes situaciones agrícola-ganaderas

Situación	ROTACIÓN EN 10 AÑOS		VALOR ACTUAL NETO AGRÍCOLA- GANADERO		RENTA ANUAL (US\$/HA)	
	Actividad ganadera	Rotación agrícola	Lote 100 ha (US\$)	Establecimiento 400 ha (US\$)	Base 100 ha	Base 400 ha
1	Cría	---	88,785	355,141	55	55
2	Invernada		199,774	799,095	124	124
3	Cría	G-M-G-T	127,726	665,572	83	108
3	Ciclo completo	G-M-G-T	151,294	770,000	98	125
3	Invernada	G-M-G-T	187,664	931,944	122	152
4	Cría	G-S-T	120,760	500,203	79	81
4	Ciclo completo	G-S-T	148,926	604,631	97	98
4	Invernada	G-S-T	192,606	766,576	125	125
5	Cría	M-T/S ₂ -G-M-T/S ₂ -G	185,096	710,793	120	116
5	Ciclo completo	M-T/S ₂ -G-M-T/S ₂ -G	196,825	780,411	128	127

G: Girasol, M: Maíz, S: Soya, S₂: Soya de segunda, T: Trigo, T/S₂: Trigo y Soya en igual ciclo productivo, a: rendimientos según el tipo de suelo, b: Rendimientos promedio de la región. Las rotaciones son para 10 años, repitiéndose en el cálculo para un período de 30 años.

Se aprecian importantes diferencias entre las situaciones propuestas, se destaca con mayor valor las situaciones con invernada y rotaciones que incluyen el doble cultivo (trigo/soya) (situación 5). Igualmente, valores mayores se dieron en otras situaciones con ganadería de

invernada (situaciones 3 y 4). Por el contrario, la *Renta Anual* de la cría disminuye (situación 1) incluso cuando se realiza con agricultura (situación 4 con cría). Así por ejemplo, se destaca que aún en la situación 6a, que incluye 6 años con agricultura, con cría la renta es inferior. En la situación 6b, con valores promedio de rendimiento, la *Renta Anual* resulta significativamente mayor, sin embargo, esta no sería posible en los suelos analizados, se incluyó a modo de referencia, para su comparación con los sistemas silvopastoril. Si bien los resultados se corresponden con las diferencias en los MB indicados en las actividades ganaderas, muestra la importancia de implementar prácticas que mejoren su renta. Tal como se indicó con agricultura, la ganadería no será sostenible sino se procura la mejora y conservación de estos ambientes de médanos.

Al respecto, el silvopastoreo se torna en una actividad promisorio tal como se indica en la introducción. Se destaca la importancia que atribuyen Radrizzani y Renolfi (2004) en regiones semiáridas al silvopastoreo con *Prosopis sp*, así como, Verga (2000), Sánchez-Acosta y Vera (2005), Galletti (2003), Bovino (2006); Echeverría *et al.* (2006), a los aspectos ambientales, sociales, culturales, e incluso económicos, evaluados a nivel de establecimiento, y a nivel de cuenca.

Resultado económico del silvopastoreo y forestación

En la Tabla 4.59 y Tabla 4.60, se presentan los *Valores Actuales Netos* (VAN) y *Renta Anual* (RA) de los sistemas silvopastoril, para cinco especies forestales seleccionadas como aptas para los objetivos de biodrenaje, y productivos de la región. En Tabla 4.60, se indica además el tiempo de corte de los árboles en años.

Tabla 4.59 Valor actual neto de cinco especies forestales en silvopastoreo (US\$/ha)

	VALOR ACTUAL NETO SILVOPASTORIL (US\$)				
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus viminalis</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Prosopis</i>
100 ha	38,679	106,786	83,426	114,923	29,528
400 ha	154,716	427,144	333,703	459,692	118,111

Tal como se aprecia en Tabla 4.60, la renta forestal es negativa para *E. camaldulensis* y *Prosopis sp*. Esto último es diferente a lo indicado por Sánchez-Acosta y Vera (2005) Los mejores resultados, en orden decreciente son: *Pinus taeda*, *E.viminalis* y *E. tereticornis*. Sin embargo, *P. taeda* tendría restringida su localización a suelo con pH ácido en todo el perfil.

Tabla 4.60 Renta anual (US\$/ha) del silvopastoreo, forestación, ganadería, y tiempo de corte final de árboles (años)

	Silvopastoreo (US\$/ha/año)	Forestación (US\$/ha/año)	Ganadería (US\$/ha/año)	Años
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	25	-3	28	25
<i>Eucalyptus viminalis</i>	69	43	26	13
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	54	26	28	25
<i>Pinus taeda</i>	75	46	28	25
<i>Prosopis</i>	19	-18	37	30

Todos los sistemas de silvopastoreo dieron renta positiva. En el silvopastoreo combinado con *Prosopis sp* la ganadería tiene una renta más alta debido a un mayor potencial de producción de forraje y ramoneo de esta especie. Sin embargo, no se consideraron en el análisis económico, otras ventajas de esta especie. Al respecto, se indica la necesidad de incorporar en

estudios futuros, los posibles efectos de disminución de la superficie freática por *Prosopis sp.*, y su ventaja probada como técnica de biodrenaje en estos ambientes (Heuperman *et al.*, 2002 y 2003; Tomar, 2007), así como su resistencia a la sequía, aspectos que justificaría su inclusión en el área de estudio, pudiendo tal vez experimentarse en *Hapludol tpto nátrico*, no apto para agricultura ni otra forestación.

Comparación de sistemas agrícola-ganaderos y sistemas de silvopastoreo

Se aprecia que en la actual situación económica, y climática, con excepción de los suelos que resultan inapropiados para agricultura, *Udipsament* y *Ustipsament típico* (situación 1), el VAN no resulta apropiado para que un establecimiento particular afronte la implementación de estos esquemas productivos.

Las *especies exóticas*, si bien en la mayoría de los casos, resulta en un VAN inferior al que se podría obtener con situaciones agrícola-ganaderas tradicionales, no presentan una situación tan desfavorable económicamente, sobre todo si se compara con otras alternativas para el manejo de agua como son la construcción de canales, que como se comentó, se construyen desde el ámbito gubernamental con muy alto costo, estimado en US\$1,830 millones sólo en las obras estructurales (no incluye mantenimiento, personal, pérdidas, etc) y con resultados inciertos (PMI, 1999).

Asimismo, si bien la Argentina, no posee actualmente *Programas de Pago por Servicios Hidrológicos*, tal como ocurre en otras partes del mundo (Banco Mundial, 2006) los resultados indican la pertinencia de incorporar esta región a dichos programas.

Debe agregarse, que los valores aquí obtenidos, si bien se elaboraron a partir de situaciones reales no se consideró la posible recurrencia de inundación-sequía, y pérdidas asociadas, sino por el contrario, que persista la situación climática actual, a fin de dar el panorama más favorable en términos económicos. Consecuentemente, aún en el mejor escenario para las actividades tradicionales existe también la factibilidad técnica y económica de la implementación de sistemas silvopastoriles. Es pertinente indicar que estos sistemas tendrán ventajas comparativas ante situaciones reales de más largo plazo.

Si bien, diferentes autores efectúan advertencias sobre el posible peligro que corren las grandes plantaciones en época seca, o sobre la salinidad (Jobbágy *et al.*, 2006, Delgado *et al.*, 2006; Noretto *et al.*, 2007), existe suficiente información a nivel mundial (George *et al.* 1999, Heuperman *et al.* 2002; Heuperman, 2003, Tomar, 2007) que muestra la utilidad de la implementación forestal, aún en sitios con régimen hídrico semiárido, por sus acciones de biodrenaje, control de la superficie freática, producción de biomasa, debiendo entonces, hacerse hincapié y profundizar los estudios que posibiliten definir los sitios donde efectivamente la actividad silvopastoril y forestal, coadyuven en el control de situaciones climáticas extremas. En punto 4.4 y 4.5, se presentaron los resultados de la aplicación de las propuestas metodológicas de Tóth (2000) y Carrillo-Rivera (2000) para el estudio del agua subterránea, descrito en materiales y métodos en punto 3.4.2.

En la presente tesis, si bien se realizó como se aprecia en puntos 4.4 y 4.5, un análisis detallado, se requiere ampliar y completar los estudios a fin de poder establecer la ubicación más adecuada de las propuestas aquí planteadas no sólo a nivel de productor, sino también a nivel localidad y partido, de modo de coadyuvar ante situaciones climáticas extremas.

4.6.3. Sobre el desarrollo de la acuicultura en la región

Lo presentado en este punto se obtuvo de información asequible en la Dirección de pesca del Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires, de la Secretaría de Agricultura,

Ganadería, Pesca y Alimentos, de la Nación, SAGPyA, y material escrito asequible en Internet, y de otras publicaciones. Se destaca que en las revistas de carácter científico, no se dispuso de un análisis económico para el desarrollo de la acuicultura en la región pampeana.

En punto 2.1.6.6 se presentaron las potencialidades y limitaciones al desarrollo regional de la acuicultura, y aquí se amplía sobre la forma en que la acuicultura puede ser realizada, incorporando algunas recomendaciones de manejo productivo, económico y financiero. Se destaca a la acuicultura, como actividad que permite obtener producción por medio del cultivo de organismos acuáticos (animales y vegetales) (SAGPyA, 2007).

A continuación se hace una enunciación de los antecedentes ya comentados y se agrega lo comentado en párrafo anterior:

Sobre las especies posibles, y ambientes

Los peces de río y laguna comprenden más de 40 especies, de las cuales, las más comunes son el pez carpa (*Cyprinus carpio*), el sábalo (*Prochilodus lineatus*), la lisa (*Mugil sp*), y el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*).

Peces como tararira (*Hoplias malabaricus*), pejerrey y en menor medida el bagre (*Pimelodus albicans*), están estrechamente asociadas a **ambientes tipo laguna**, mientras que la lisa y la carpa, son característicos de **ríos y arroyos**. La lisa aparece también relacionada con **canales**, igual que el dientudo (*Acestrorhynchus altus*).

El cultivo extensivo del pejerrey es en la actualidad muy buena alternativa económica si la actividad es planificada en todos sus aspectos que van desde la correcta evaluación productiva de la laguna hasta su comercialización (Agrodiario, 2007).

Origen y calidad físico química del agua

En la Tabla 4.61 se presenta la calidad físico-química óptima del agua para el cultivo del pejerrey (SAGPyA, 2007).

Tabla 4.61 Calidad físico-química del agua para el cultivo del pejerrey (SAGPyA, 2007)

Parámetro	Nivel óptimo
Temperatura	25 a 35° C
Color	Verde – Marrón
Transparencia	25 – 50 cm
Turbidez	<300 ppm
Oxígeno Disuelto	5 -7 ppm
Plancton	>25 ml/m3
CO ₂ libre	<12 ppm
Amoníaco	<0.025 ppm
Nitritos (NO ²)	<0.1 ppm
Sulfídrico (SH ₂)	<0.002 ppm
pH	7 – 9
Alcalinidad*	40 – 200 ppm
N ₂ inorgánico	>0.2 ppm
P ₅ inorgánico	> 0.2 ppm

Uso del agua superficial, proveniente de arroyos, ríos, embalses, una vez comprobada su calidad favorable, puede canalizarse hacia estanques, laboratorios de incubación, eclosión y primer alevinaje. Siempre debe ser agua exenta de contaminación. Para una toma de agua superficial es imprescindible conocer las instalaciones existentes aguas arriba, por posible presencia de industrias y/o desechos dañinos o que el caudal considerado como “disponible” no

sea disminuido por su uso en otros cultivos, situación que ya ha ocurrido en Argentina. Si el caudal no fuera suficiente podrá combinarse con agua de subterránea.

Uso del Agua subterránea, determinar su calidad, flujo y cantidad a utilizar en el cultivo a implementar. Se definirá el número de pozos necesarios para la producción inicial y futura inmediata, además de la necesaria para otras actividades ligadas a la producción en si misma, tal como procesamiento e higiene. La temperatura del agua más profunda es mas cálida y homogénea, si llega a ser superior a 35°C debe mezclarse con agua más fría.

Proceso productivo del pejerrey en ciclo cerrado

El desarrollo de un ciclo cerrado de una piscicultura del pejerrey involucra las siguientes etapas secuenciales:

- 1°. Reproducción de pejerrey adulto
- 2°. Incubación en piletas
- 3°. Eclosión y cría de alevinos en tanque australiano
- 4°. Evaluación de la laguna: la densidad de siembra de una laguna es función directa a su productividad (plancton), lo que determina el rendimiento de 70 a 250kg/Ha/ciclo.
- 5°. Siembra de los juveniles
- 6°. Controles periódicos de avance de la producción
- 7°. Cosechas (pesca con redes) parciales de los pejerreyes que han alcanzado la talla de mercado.

La *calidad de las lagunas evaluadas en la presente tesis* se indica en este apartado en forma parcial en la Tabla 4.41, y en forma completa en la Tabla D1 del Anexo D. Tal como se aprecia, algunas lagunas se encuentran en valores elevados de alcalinidad, y si bien en la Tabla 4.61 no se indican valores de CE posiblemente sea excesivamente alto en algunas ellas, tal como Epecuén, y en menor medida El Recado. Se destacan los trabajos publicados y citados en punto siguiente en el ámbito de la Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras del Ministerio de Asuntos Agrarios, provincia de Buenos Aires en donde se dan algunas propiedades no medidas en la presente tesis como turbidez, color y otras propiedades físico-químicas.

Se destaca que sería conveniente que las normas dadas por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación en Tabla 4.61 sea ampliada a aquellas propiedades vinculadas a la contaminación y que no han sido incluidas, tal como el Pb, Hg, Ni, V, Cr, Cu, Co, As, Zn, B, Mn, entre otros elementos que pueden estar presentes en agua y ambiente próximos a centros urbanos (Costa *et al.*1991). Asimismo, en la región adquiere particular importancia indicar los niveles tolerables en As para la producción de peces ya que como se aprecia en Tabla D1 del Anexo D, muchas de estas contienen contenidos muy elevados y tóxicos en As, que posee un origen natural.

Superficie potencial para el desarrollo de la acuicultura

El potencial pesquero de las lagunas pampeanas es elevado, para 1974 Mastrarrigo indicaba 100,000ha de espejos de agua de lagunas, a lo cual puede agregarse otras 10,500ha de lagos de obras hidráulicas con posibilidad de realizar cría de peces.

Estos valores varían en función de la evolución de los cuerpos de agua, definidos por las condiciones climáticas y aportes de agua de otros sitios (punto 4.5, sobre identificación de zonas de recarga y descarga). En punto 4.2.3 relativo al análisis multitemporal de las imágenes satelitales, se aprecia que muchos cuerpos de agua mantienen una superficie de agua importante y no se encuentra directamente determinada por la precipitación local. Uno de los casos más importantes es el complejo lagunar EL Hinojo-Las Tunas en Trenque Lauquen, cuya superficie es aún importante en épocas secas en la región. Asimismo, existe un gran número de

cuerpos de agua de tipo permanente que si bien no han recibido tratamiento de laguna comercial o deportiva, podrían ser incorporadas en forma constante en el tiempo como cuerpos de agua para actividad acuícola.

Actividad actual, y organismos competentes para su desarrollo

- Actualmente la actividad acuícola presenta un desarrollo económico muy importante como pesca recreativa/deportiva, especialmente de pejerrey, con más de 500 clubes y 1.5 millones de pescadores en la provincia de Buenos Aires.
- Las lagunas de pesca se ubican en toda la cuenca pero la mayor concentración se da en el Salado Inferior (Encadenadas del Este) y, en menor medida, en las Encadenadas del Oeste, que se incluye en la denominada región V del PMI (1999), caracterizada por la predominancia de pejerrey. Las principales lagunas de pesca en el área del presente estudio son las indicadas en Figura 2.18.
- La pesca comercial se encuentra limitada a la Bahía de Samborombón, en el océano Atlántico, y a pocas lagunas en la Pampa Arenosa. Existe también una pesca artesanal de subsistencia (consumo, carnada, ornamental).
- La Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaría de Actividades Pesqueras del Ministerio de Asuntos Agrarios, provincia de Buenos Aires han efectuado relevamiento de peces en lagunas en el área del presente estudio que muestran la buena aptitud que las lagunas pampeanas presentan para el desarrollo de la acuicultura en forma comercial. Los relevamientos se efectuaron entre los años 1996 y 2007 e incluyeron las siguientes lagunas: Las Tunas e Hinojo Grande en Trenque Lauquen; Cuero de Zorro, Rivadavia; Cochicó en Guaminí; Gómez en Junín; y La Salada en el partido de Pehuajó (Colautti et al., 1999; Berasain et al., 2000; Berasain et al., 2001; Remes Lemicov et al., 2002; Lemicov y Colautti, 2004; Berasain y Remes Lemicov, 2005; Berasain y Argemi, 2006; Remes Berasain y Argemi, 2007, y Guía de Lagunas y Pesqueros, 2007; y MAA, 2007). Todas estas lagunas fueron analizadas en la presente tesis (punto 4.4).
- Existen en la actualidad en el ámbito de la provincia de Buenos Aires, siete Estaciones de Piscicultura de Pejerrey, y una Estación Hidrobiológica en Chascomús (EHCH). Esta última ubicada en la Cuenca del Río Salado, y fundada en 1942, desarrolla reproducción y mejoramiento del pejerrey de diferente origen (Salada Grande, Chasicó, y Gómez, entre otras) contando actualmente con 41 tanques de cultivo para el mantenimiento de reproductores, y cría intensiva de juveniles. A partir del 2005, se cuenta con 800 reproductores seleccionados que posibilita evitar la captura de ejemplares silvestres, y alcanzar el autoabastecimiento por la producción intensiva de 10 millones de huevos con 75% de fertilidad por temporada, proveyendo de huevos fecundados a otras estaciones productoras. Las estaciones ubicadas en sectores del oeste bonaerense son dos, en el partido de Guaminí, laguna de Cochico, y en el partido de Junín, Laguna El Carpincho (Guía de Lagunas y Pesqueros, 2007; y MAA, 2007).
- Los servicios tales como el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), la Dirección de Acuicultura de Nación, Universidades, Institutos de Investigación y Desarrollo, Consultoras Agrícolas privadas, pueden brindar y asistir a una evaluación para la selección de sitios aptos destinados a operaciones acuícolas. Se destaca especialmente, el asesoramiento y asistencia gratuita para una posible producción acuícola, en el área de la Dirección de Acuicultura de Nación, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA, 2007).

Rendimiento y beneficio económico

De acuerdo con las siguientes fuentes Quirós (1988); López et al. (2001), Agrodiario (2007) se tiene:

- Los rendimientos promedio van entre a 60 y 250kg/ha/año para lagunas del noroeste bonaerense según diferentes autores y laguna considerada.

- La producción total se estima para las lagunas pampeanas de 200,000 a 300,000ton/año, siendo aproximadamente 100,000ton/año lo producido a partir de lagunas fiscales (propiedad del estado), y el resto de propiedad privada.
- Rendimiento pesquero de cuerpos de agua mayores a 5km² en la región pampeana asciende a 18,000ton/año; sin embargo, con base en datos de pesquerías recreativa y deportiva se estima la extracción de 40,000tn/año para un rendimiento promedio de 120kg/ha/año.
- En lagunas con buen rendimiento, 120kg/ha/año, el beneficio económico puede ser de US\$204,000, sin embargo, cuando estas sólo producen 3kg/ha/año, como se ha obtenido en el complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, con una producción de 80,300kg, el beneficio económico alcanzó US\$91,000.
- Se considera que si la pesquería del complejo Hinojo-Las Tunas operara para obtener un rendimiento máximo sostenible de 120kg/ha, lo que es equivalente a una cosecha anual de 2,640ton, se generaría una ganancia potencial de US\$2'999,200 y ello representaría un beneficio de US\$136/ha. Bajo un criterio precautorio y conservativo de 25%, esta cosecha se reduciría a 660ton lo que daría US\$748,000 anuales o bien US\$34/ha. En esa oportunidad, el complejo Lagunar, tenía una superficie de 22,000ha (PMI, 1999).
- Beneficios que podrían obtenerse en una laguna podrían variar entre US\$500,000 y US\$850,000 anuales, en función de la distancia al centro de consumo.
- La laguna de Cochicó, en las Encadenadas del oeste, tiene como desventaja la gran distancia a los centros de consumo, sin embargo, se estima que genera un beneficio de US\$88/ha, teniendo además una gran importancia, por la gran concurrencia que posee ya que anualmente ingresan al agua 8,784 personas en 2,928 embarcaciones, siendo la densidad de pescadores de 2.2/ha.

Sobre la generación de empleo, beneficio del productor y familia

- ***Cooperativas***, en lagunas fiscales o privadas con contratación de personal (ejemplo complejo lagunar El Hinojo-Las Tunas), cada pescador puede manejar 12 redes enmalladoras por lo que se requeriría emplear 264 pescadores si la meta es obtener un rendimiento de 120kg/ha/año. Ello representaría una ganancia neta de US\$11,360 por pescador, lo cual implica un ingreso familiar mensual de US\$946, repartidos en un año.

- ***Establecimiento agropecuario, familiar***, la actividad puede realizarse de varias formas tales como: *i)* arrendamiento de lagunas a terceros, obteniendo por ello un porcentaje de la producción, *ii)* que el productor haga su propia producción de alevinos, o *iii)* que efectúe directamente el engorde de peces y comercialice el producto terminado, a mercados mayoristas (intermediarios, distribuidores, supermercados, pescaderías) y minoristas (restaurant, hoteles, otros).

Si se siembra alivinos, en un año puede cosecharse e introducirse al mercado el pejerrey, y se requiere de una inversión de US\$88/ha, siendo el beneficio neto de US\$48/ha, valor significativo en la medida en que pueda desarrollarse un plan de siembra general en varios ambientes.

La piscicultura de agua dulce ha comenzado a instalarse en los últimos años en la Argentina como alternativa productiva capaz de complementarse con establecimientos agropecuarias tradicionales e incluso el beneficio expresado por unidad de superficie (ha) muestra que puede ser superior.

En el caso particular de un productor agropecuario de la Pampa Húmeda que posea una o varias lagunas dentro de su campo (o compartida con vecinos), el desarrollo de una piscicultura extensiva del pejerrey le permitiría un ingreso suplementario utilizando áreas no aprovechables para la actividad agropecuaria tradicional.

- En la **pesca comercial**, el beneficio económico sobre la comunidad de pescadores es fundamentalmente de tipo directo, particularmente si los pescadores provienen de centros urbanos próximos a la laguna, como sería el caso de los pescadores que viven en Beruti o Trenque Lauquen respecto al complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas.

Ejemplo para una laguna del sur santafesino o noroeste bonaerense, con una superficie de laguna de 200ha, rendimiento de 100kg/ha/ciclo; con un precio por kilogramo de pejerrey entero pagado al productor de aproximadamente US\$1/kg genera un ingreso bruto de US\$16,700, siendo los costos de aproximadamente US\$6,700 (beneficio neto de US\$30,000) los cuales disminuyen al cabo de tres años al suprimirse el costo de semilla y siembra, aumentando la rentabilidad en un 10-15% (Agrodiario, 2007).

- En el caso de la **pesca recreativa/deportiva** existe un impacto económico directo e indirecto, y social, dado por la creación de fuentes laborales ligadas a la actividad, y otras complementarias que generan consumo de bienes, necesidad de servicios, y esparcimiento.

Consideraciones para implementar la acuicultura en un establecimiento agropecuario: i) posibilidad de manejar un cultivo acuático y su producción, ii) mercados, iii) la capacidad financiera, iv) la disponibilidad de recursos, respecto de tierras, agua, capital y mano de obra, y v) posibilidades para afrontar un riesgo.

Se destaca que muchos sistemas acuícolas se requiere de una gran inversión en capital tal como construcción de estanques, pozos y compra de un equipamiento adecuado y específico que tendrá escasa utilidad para otros usos futuros. Asimismo, muchos sistemas de cultivo, utilizan tecnología que es específica para una determinada especie seleccionada y no puede ser utilizada en otra especie. Existe una larga lista de factores físicos de producción en relación con la selección de una especie acuícola, así como un sitio apto para la instalación de las estructuras de producción. Estos factores incluyen las características físicas del sitio, la facilidad de acceso a los insumos necesarios para efectuar la producción a emprender y el soporte técnico para ella.

Las **características físicas del sitio**, son de especial importancia para el éxito de una operación acuícola. Estas características no se detallan totalmente, pero incluyen entre otras las propiedades del suelo, la topografía, las propiedades del agua de abastecimiento, la existencia de residuos de pesticidas en los suelos y las condiciones climáticas del área.

Si bien son muchas las consideraciones que un acuicultor debe efectuar (SAGPyA, 2007) se destaca la comercialización ya que puede ser un factor clave en la determinación del éxito de una operación acuícola. Debido a la incertidumbre de las cosechas y los precios, la estrategia de planificación para la comercialización de los productos, se vuelve muy importante. Esta planificación es un proceso que consisten en las siguientes etapas 1) determinación de los costos de producción, 2) estudio de los posibles mercados existentes, 3) determinación de las metas y objetivos para la comercialización, 4) determinación de qué productos hay que ofrecer al mercado, 5) revisión periódica de los signos indicadores del mercado seleccionado, y 6) decisión de cuándo, cómo y cuánto producir, acompañado de su precio.

Aspectos legales y administrativos

Se destacan también como factor decisivo en el desarrollo de la actividad acuícola considerar las restricciones institucionales. Así, en SAGPyA (2007) se indica que al ser la acuicultura una actividad utiliza recursos naturales debe coordinarse su desarrollo y la posibilidad del uso de dicho recursos con las autoridades competentes en las respectivas provincias y en la Nación (según competencia).

El proceso de obtención de un permiso para la implantación de una actividad acuícola, puede resultar relativamente complejo e insumir tiempo al potencial productor. En la mayoría de los casos, están involucrados varios de los sectores institucionales del país que regulan la actividad y se requiere en general, la presentación de un proyecto, con su análisis económico, además del acompañamiento de varios documentos, permisos, concesiones y certificaciones en general, que dependerán del tipo de emprendimiento acuícola a desarrollar. Así, la complejidad, variará según el tipo de requerimiento de uso del recurso y donde será conducida la operación acuícola. El tipo de tierra, si involucra o no al Estado, el uso de agua de cuerpos superficiales (lagos, ríos, arroyos, embalses, costa marina), organismos acuáticos a producir (exóticos y/o autóctonos), posibles impactos ambientales a generarse, entre otros.

Para el caso de cultivos a ejecutar dentro de tierras propias del productor, aún cuando utilice recursos del estado provincial (agua y otros), la operación será más simple, igualmente para el desarrollo de cultivos en jaulas suspendidas en represas u otros cuerpos de agua de propiedad del productor. Si por el contrario, los cultivos se desarrollaran en jaulas suspendidas en aguas públicas (lagos, arroyos, ríos, lagunas) o bien involucran la producción de moluscos bivalvos (ostras, mejillones, vieiras) en aguas marinas costeras, las cuestiones referentes a permisos y responsabilidades llevarán un poco más de tiempo. Hasta ahora, la ausencia a nivel de competencia provincial, bajo el referente legal y algunas normativas particulares, atrasa los procesos de obtención de permisos, más aún, cuando se trata en Argentina de una actividad considerada novedosa.

El proceso de obtención de permiso y concesiones en cuerpos de agua destinados a uso de producción acuícola en sistemas de represas activamente manejados, está actualmente y en general, libre de problemas complejos; sin embargo, la acuicultura a desarrollar en ambientes naturales como son los lagos, ha configurado problemas relacionados con la conservación del ambiente, lo cual sumado a una ausencia de estudios e investigación en la Argentina, acompleja la situación, estimándose por ello, que llevará un tiempo alcanzar su resolución.

Se destaca entonces, que incluso en el caso del uso de recurso terrestre propio, y del agua subterránea presente en dicho sitio, el productor potencial deberá tramitar los permisos respectivos para la instalación que proyecte y para una especie acuícola dada.

Riesgos de la actividad acuícola

Como en cualquier producción los riesgos asociados son diversos. Entre estos, se destaca *i)* variabilidad en la producción, *ii)* costo de insumos, *iii)* riesgo del mercado, fluctuación en los precios de los productos a vender por cambios estacionales referidos a la cantidad demandada y producida, *iv)* riesgo financiero, está asociado a los impactos provenientes de la economía general, y con base en el grado de intensificación de la actividad, a mayor intensidad mayor riesgo. Los riesgos financieros podría ser el resultado de pérdidas de producción por enfermedad, pérdida de parte de la construcción, maquinaria o equipamiento por desastre natural (inundación, tornado) o robo.

Actualmente, las fuentes de financiamiento para acuicultura en Argentina, se encuentran disponibles a partir de la línea de Crédito de Banco Nación (2001) o de las correspondientes al Consejo Federal de Inversiones, provenientes de las provincias. No existe en el país, por el momento, algún tipo de seguro especial para emprendimientos acuícolas, así como tampoco, fondos estatales con programas de asistencia financiera (a excepción de los créditos existentes, originados en la Secretaría para la Tecnología, la Ciencia y la Innovación Productiva, conocidos comúnmente como Créditos de Innovación Tecnológica).

La comunidad financiera es renuente a apoyar con créditos a los potenciales productores acuícolas si percibe que los riesgos son altos. Los acuicultores potenciales deberán estar, por lo

tanto, seguros financieramente y aptos para demostrar su futura producción acuícola, así como el manejo financiero y una comercialización adecuada, para optar a los préstamos.

Deberá elegirse la organización adecuada, que podrá ser una corporación, cooperativa, consorcio, compañía ó sociedad limitada para la empresa acuícola, de modo de facilitar la formación de capital y las operaciones futuras (SAGPyA, 2007).

RESUMEN SOBRE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Diferentes alternativas de manejo del ambiente deben considerarse a fin de mejorar el resultado económico de la empresa agropecuaria, coadyuvar a la problemática de sequías e inundaciones alternantes, y garantizar la sustentabilidad de las actividades en términos productivos, económicos, sociales y ambientales.

Se recomiendan tres tipos de acción:

- a)- Mejorar y ajustar al ambiente los sistemas productivos actuales,
- b)-Implementación de otros sistemas productivos, forestación y sistemas silvopastoriles.
- c)-Incorporar la acuicultura dentro de los esquemas tradicionales agrícola-ganaderos.

La información existente a nivel nacional e internacional resulta suficiente para mejorar en gran medida la situación productiva actual, principalmente a fin de que la misma sea sostenible en términos económicos y ambientales. Esto significa que **existe una gran brecha tecnológica** que puede ser aplicada a los ambientes y sistemas productivos tradicionales agrícola-ganaderos. Los márgenes brutos de estas actividades son favorables y convenientes si es que se mantienen niveles productivos elevados (altos rendimientos en grano, pasto, carne), situación difícil de garantizar con condiciones climáticas alternantes (sequías e inundaciones) y manejo inadecuado de ecosistemas altamente frágiles (suelos de escaso desarrollo y susceptibles a la erosión).

Otras propuestas de escasa difusión en el país y en la región, tal como la implementación de sistemas ganaderos con forestación, **silvopastoreo**, resulta pertinente incorporar y desarrollar, debiendo seleccionarse las especies arbóreas, y los sitios donde las mismas deben ser instalados, mediante la implementación de la teoría de los sistemas de flujo de agua subterránea, tal como se aplicó en la presente tesis.

Como especie nativa promisoría se destaca al ***Prosopis sp*** a cuyo resultado económico debe incorporarse el resto de beneficios que podría representar en el esquema general de la empresa agropecuaria y en el ambiente en general.

Los mejores resultados se obtienen de combinar especies de rápido crecimiento en turnos medios para obtener madera sólida. En ese sentido el ***Pinus taeda* y *Eucalyptus viminalis*** fueron las especies que mejores resultados presentaron. El *Pinus taeda* está muy poco estudiado para la región pero es de una gran plasticidad y produce madera de buena calidad en turnos medios.

E. viminalis y *E. tereticornis* (eucaliptos colorados) se han usado en cortinas de abrigo por lo que se debería contar con buen material y adaptado a la región. La madera producida en turnos medios puede ser usada en carpintería o para insumos del predio.

En relación con el **efecto ambiental de los árboles**, se destaca que si bien diferentes autores efectúan advertencias sobre el posible peligro que corren las grandes plantaciones en época seca, o sobre la salinidad existe suficiente información a nivel mundial que muestran la utilidad de la implementación forestal, aún en sitios con régimen hídrico semiárido, por sus acciones de **biodrenaje, control de superficies freáticas**, debiendo entonces, hacerse hincapié y profundizar,

los estudios que posibiliten definir los sitios donde efectivamente las actividades silvopastoriles y forestales, coadyuven en el control de situaciones climáticas extremas.

En la presente tesis, si bien se realizó un análisis sobre la calidad del agua y funcionamiento del sistema de agua subterránea, siguiendo la teoría de los sistemas de flujo, se requiere ampliar y completar los estudios a fin de poder establecer la ubicación más adecuada de las propuestas aquí planteadas no sólo a nivel productor, sino también a nivel localidad y partido, de modo de coadyuvar ante situaciones climáticas extremas.

Se destaca que los análisis económicos efectuados en la presente tesis en los esquemas tradicionales de manejo, si bien se elaboraron a partir de situaciones reales no se consideró la posible recurrencia de inundación-sequía, y pérdidas asociadas, sino por el contrario, que persista la situación climática actual, a fin de dar el panorama más favorable en términos económicos. Consecuentemente, aún en el mejor escenario para las actividades tradicionales, existe también la factibilidad técnica y económica de la implementación de sistemas silvopastoriles. Es pertinente estimar, que estos sistemas tendrán ventajas comparativas ante situaciones reales de más largo plazo.

Se recomienda que en circunstancias en las cuales no sea factible aplicar por un productor individual esquemas de silvopastoreo, las autoridades locales, provinciales y nacionales, consideren y estudien las ventajas importantes que su implementación podría tener para la comunidad en general. Se destaca al respecto el alto costo de las canalizaciones que el estado realizar en la región, cuyo costo estimado para 1999 fue de (US\$1,830 millones sólo en obras estructurales), indicándose además resultados inciertos y advertencias sobre los riesgos que la implementación que dichos canales podrían tener en la región y en la provincia en general, aspectos todos que han sido alertados por las propias autoridades de aplicación (PMI, 1999).

Asimismo, si bien la Argentina, no posee actualmente *Programas de Pago por Servicios Hidrológicos*, tal como ocurren en otras partes del mundo (Banco Mundial, 2006) los resultados indican la pertinencia de incorporar esta región a dichos programas.

Sobre la acuicultura

Diversas especies de peces pueden desarrollarse en lagunas y cuerpos de agua superficial de la provincia de Buenos Aires, teniendo un especial interés el desarrollo comercial del pejerrey; su cultivo es en la actualidad conveniente económica y socialmente, si la actividad es planificada en todos sus aspectos que van desde la correcta evaluación productiva de la laguna hasta la comercialización del pejerrey.

La actividad acuícola puede implementarse dentro de los establecimientos agropecuarios tradicionales, en forma complementaria, en aquellos sitios no aptos para otras actividades, obteniéndose beneficios aún mayores que con algunas actividades agropecuarias tradicionales.

Los rendimientos varían entre 60 y 250kg/ha/año de carne, dependiendo del manejo y características de la laguna. Los beneficios que podrían obtenerse en una laguna podrían variar entre US\$500,000 y US\$850,000 anuales, en función de la distancia al centro de consumo. Los beneficios por hectárea varían entre 34 y US\$136/ha.

Asimismo, es una actividad que genera mucha mano de obra, y se estima puede representar para un pescador una ganancia neta anual de US\$11,360, lo cual implica un ingreso familiar mensual de US\$946.

Debe considerarse los riesgos de la actividad, principalmente financieros, ausencia general de créditos, condiciones físicas del sitio a desarrollar la actividad, y permisos que deben obtenerse ante el estado, aún en establecimientos particulares.

Con base en lo expuesto, la actividad presenta ventajas socio-económicas y ambientales por lo cual debería fomentarse el desarrollo comercial de la acuicultura, especialmente el pejerrey en lagunas. Se destaca la necesidad de *definir los parámetros de calidad de agua* para producción acuícola en forma completa, incluyendo elementos químicos contaminantes, especialmente el As. Asimismo, otros elementos tóxicos y frecuentes en áreas urbanas deberían ser identificados y controlados.

Se destaca las siguientes *restricciones y recomendaciones*:

Restringen la producción económica

- i) ausencia de una estrategia institucional para su manejo, existe poco planeamiento integrado, y programado, se actúa primordialmente ante emergencia, lo cual conduce a la ausencia de sustentabilidad de las actividades,
- ii) calidad y cantidad de peces muy variable, debido a estar fuertemente relacionadas con el ciclo de inundación, contaminación, y manejo
- iii) no se integran los requerimientos de recursos de la actividad con otras dentro del área, en consecuencia no se analiza el posible uso conflictivo del recurso pesquero con otras actividades
- iv) existencia de pocos profesionales y personal capacitado en la actividad;
- v) escasa información científica.

Resulta necesario

- i) desarrollar e implementar acuerdos regulatorios y organizacionales apropiados para el manejo de pesquerías, realizando un ordenamiento regional de ambientes en función a su uso potencial (pesca deportiva, comercial, artesanal, de explotación semi-intensiva, reservas de biodiversidad),
- ii) investigar sobre la actividad pesquera y características ecológicas para elaborar lineamientos de manejo, sustentable y eficiente, partiendo de comprender como interactúan los siguiente factores: procesos naturales, ciclo hidrológico, ecología, geomorfología, producción agropecuaria, incluyendo uso de fertilizantes y pesticidas; aspectos sociales-culturales del uso de la tierra y manejo de la cuenca,
- iii) evaluar a nivel regional y local, la importancia socioeconómica actual o potencial del diferente uso del recurso pesquero para poder valorar su preservación,
- iv) fomento estatal, programas de desarrollo, apoyo crediticio, seguros productivos, y asesoramientos ajustados a cada condición socio-económica-ambiental,
- v) el Estado debe evaluar la actividad como una alternativa que contribuye a regular excesos hídricos, y propiciar su implementación en forma coordinada con otras acciones realizadas para el control de inundaciones tales como las canalizaciones,
- vi) normativas de calidad de agua ajustadas al sitio y tipo de producción.

CONCLUSIONES SOBRE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Sobre sistemas agrícola ganadero y silvopastoril

- Se destaca la existencia de una gran brecha tecnológica para mejorar el resultado productivo, económico y ambiental de las actividades agropecuarias tradicionales
- La implementación de sistemas silvopastoriles resultan viables, y deben programarse conforme al funcionamiento del agua subterránea (zonas de recarga y descarga, y tipo de flujo presente local, intermedio o regional).

- Esta primera aproximación al problema de inundación-sequía tendría que ser abordada con un análisis marginal que incorpore en una matriz ambiental todos los beneficios, costos privados y ambientales para las unidades productivas. Este abordaje permitiría poner un valor al servicio ambiental propuesto.
- Los valores tomados de crecimiento son orientativos y exploratorios de una situación promedio, para tiempos medios a largos. Esta situación tendría que ser contrastada con experimentación en campo bajo diferentes condiciones de suelo, agua y vegetación.
- Sería interesante evaluar el efecto del subsidio en la viabilidad financiera de especies de bajo retorno como *Prosopis sp* y debería también considerarse e incorporarse al resultado total de la empresa agropecuaria otros beneficios que esta especie reporta.
- *Pinus taeda* y *Eucalyptus viminalis* fueron las especies que mejores resultados presentaron para obtener especies de rápido crecimiento en turnos medios para obtener madera sólida. El *Pinus taeda* está muy poco estudiado para la región pero es de una gran plasticidad y produce madera de buena calidad en turnos medios.
- *Asimiso*, *E. viminalis* y *E. tereticornis* (eucaliptos colorados) la madera producida en turnos medios puede ser usada en carpintería o para insumos en el predio.
- El abatimiento de la superficie freática puede ser importante al tenerse un “bombeo” por la vegetación, que se estima que para una densidad de 1,000 plantas/ha extraerían un caudal equivalente a 5-10l/s dependiendo de factores varios del crecimiento del árbol y clima.
- El Estado debería realizar programas y acciones que fomenten la actividad de silvopastoreo como alternativa que no sólo coadyuve con el control de inundaciones sino que además posibilite un desarrollo sustentable de las actividades agropecuarias.
- La Argentina no posee actualmente *Programas de Pago por Servicios Hidrológicos*, tal como ocurren en otras partes del mundo (Banco Mundial, 2006) los resultados indican la pertinencia de incorporar esta región a dichos programas.

Sobre la acuicultura

- La actividad presenta ventajas socio-económicas y ambientales por lo cual debería fomentarse el desarrollo comercial de la acuicultura, especialmente el pejerrey en lagunas. Si bien deben estudiarse las aguas por sus contenidos en contaminantes como el As, y otros de origen urbano.
- La acuicultura puede realizarse en forma complementaria con otras actividades tradicionales del establecimiento agropecuario con muy buen resultado económico.
- Puede tener un importante impacto en la generación de empleo, principalmente en emprendimientos regulados desde el estado o privados, como cooperativas.
- Puede constituirse en una alternativa que coadyuve al control de inundaciones por el consumo de agua no aprovechable para otros usos para la propia actividad, y otras actividades asociadas y complementarias.
- Otra ventaja de la plantación de árboles como biodrenaje es que comparados con la construcción de canales, los primeros evitarían el transporte de suelo ejecutada por los segundos.
- Estado debe evaluar la actividad como una alternativa que no sólo contribuye a regular excesos hídricos, sino también posibilidad de generar ingresos, mano de obra, y mejorar la situación socio-económica de un amplio estrato social, propietario de superficies pequeñas o sin ellas.

Para ambas actividades, silvopastoreo y acuicultura, se indica:

- El Estado debe propiciar el estudio e investigación de los recursos naturales, efectuar evaluaciones económicas y sociales, y a partir de esto, desarrollar acciones y programas que fomentan la incorporación de estas actividades a los esquemas tradicionales de producción.

- Las ventajas sociales, económicas y ambientales de las actividades acuícolas y del silvopastoreo, deberían ser incorporadas en forma efectiva en las tareas que implementa el Estado para coadyuvar con el control de inundaciones, ya que la construcción de canales no sólo resulta conflictiva en muchos aspectos, sino que además es claramente insuficiente.

4.7 Interpretación e integración de variables

Como se detalló en el punto 3.6 de materiales y métodos, para este punto, se considera que la *aplicación del criterio de funcionamiento de los sistemas de flujo de agua* es la herramienta que permite estudiar el paisaje en sus aspectos técnico-ambientales, y a partir de esto proponer posibilidades viables de desarrollo socio-económico con sistemas productivos sostenibles. Así, este criterio de análisis permite integrar *elementos del paisaje a la vez que considera los procesos* que definen el funcionamiento del sistema.

Hasta aquí se han analizado los *elementos que integran el paisaje*, y sus relaciones básicas naturales considerando *procesos*, y como estos intervienen con la sociedad del noroeste bonaerense. Los resultados sobre elementos del paisaje y procesos fueron analizados en el presente capítulo 4 en los puntos 4.1 a 4.6.

Tal como se indicó con detalle en el punto 3.6, en el presente apartado los resultados hasta aquí discutidos son analizados en forma integrada para llegar a definir y considerar el funcionamiento del sistema de donde es factible proponer soluciones viables para el área de estudio:

i) sobre el origen u orígenes más probables de las inundaciones, partiendo de la comprensión de las relaciones clima - suelo superficial – subsuelo - agua subterránea - uso del suelo, debido a que en conjunto definen el sistema hidrológico, *ii)* que las actividades deben considerar el manejo del suelo para obtener el máximo de todas sus funciones, y *iii)* que el beneficiario de las acciones debe ser la sociedad en su conjunto.

A fin de ordenar este apartado son tres aspectos a definir, *i)* a *iii)*, que se resuelven conforme a tres etapas de análisis, como se indica a continuación en puntos 4.7.1, 4.7.2 y 4.7.3.

4.7.1 Sistemas de flujo de agua subterránea identificados

La definición de estos sistemas se considera es un procedimiento adecuado a fin de integrar los elementos del paisaje, naturales y antrópicos, recopilados y obtenidos en los puntos 4.2. a 4.5 (clima, imágenes satelitales, suelo, agua superficial, subterránea, y vegetación) en relación con su incidencia en la magnitud de las inundaciones.

Por medio de la modelación hidrogeoquímica (punto 4.4.1), flujo de agua subterránea MODFLOW (punto 4.4.2), y estudios de suelo-vegetación (punto 4.3) se confirma: en el área de estudio la presencia de: a) zonas de descarga de sistemas intermedio, b) la descarga de estos sistemas es difusa en la planicie, y c) recarga y descarga de sistemas locales.

Asimismo, se destaca, tal como se indicó en punto 4.5, que la descarga de flujo regional no fue identificada en el área de estudio, y que los flujos identificados en la provincia de Mendoza, no se corresponden (ni química o isotópicamente) con el agua subterránea encontrada en las zonas de descarga en el área de estudio.

Los siguientes elementos del suelo, vegetación, agua, y procesos reconocidos en el área de estudio son los que permitieron definir cada una de esas zonas (de descarga y recarga) y el sistema de agua al cual pertenecen:

a) Zonas de descarga de sistema intermedio

Las zonas de descarga se reconocen por muchos de los elementos observados en el área de estudio, las lagunas saladas, el Río Salado, los suelos salino-sódicos identificados, así como los sitios donde se tiene agua subterránea somera, salina con bajo Eh y alto pH. Los suelos presentan alta salinidad, alcalinidad e hidromorfismo, y se clasifican como Natracuol y Natracuolf. Se destaca además, que se identificó un suelo Hapludol ácuico en flujo intermedio (sitio 34), el cual en general es más frecuente en ambientes de descarga local.

Los flujos que se manifiestan a través de dichas condiciones de descarga son de tipo intermedio, debido a que:

- el agua tienen una elevada salinidad y una calidad sódico-clorurada
- las condiciones químicas de evolución natural de las facies químicas del agua subterránea (sin fuente adicional de carbonatos como reacciones por presencia de piritita) evolucionan desde aquellas de tipo bicarbonatada hasta aquella donde el agua tiene un contenido de sales donde prevalecen el Cl^- y Na^+
- el caudal de agua que continuamente se descarga por el cauce del Río Salado (que drena el subsuelo) tiene un contenido en STD del orden de 17,000mg/l, salinidad que es similar a la laguna Las Tunas con 16,531mg/l de STD
- se depositan en el suelo sales de Fe y Mn, las cuales sólo pueden estar en solución en flujos de recorrido largo donde se ha consumido el oxígeno e hidrógeno presentes en el agua de recarga; al llegar en contacto con la atmósfera (descarga) se tienen condiciones de oxidación que permiten su precipitación como rasgos hidromórficos.

b) Zonas de descarga de tipo difuso

Así se considera la mezcla de agua identificada en Epecuén, El Recado, Las Tunas y Murphy tiene un porcentaje de aporte de un flujo regional del orden de 45, 12, 9 y 6, respectivamente. Este aporte podría elevarse sensiblemente si se considera que para calcular la mezcla se tomó como agua de posible entrada vertical a un flujo con 127,000mg/l de STD, con temperatura de 75-80°C (localizada en Los Gauchos, localidad de Villalonga, al sur de la provincia de Buenos Aires, en partido de Patagones); temperatura que no se ha detectado en los estudios de campo ni ha sido reportada en estudios que se han realizado en las lagunas del área de estudio. La localidad de Villalonga, se encuentra alejada de la zona de estudio, por lo cual el agua de posible influencia en el noroeste bonaerense sea de menor salinidad y temperatura que las indicadas para la mencionada localidad, esto haría incrementar en forma sensible los porcentajes de mezcla arriba indicados.

Las zonas de recarga de los flujos de tipo intermedio que descargan en forma difusa, se encuentran fuera de los límites del área de interés, y su identificación requerirá de estudios de carbono-14 y carbono-13, en forma conjunta con un análisis hidráulico de velocidad del flujo subterráneo que permita identificar la distancia donde se da dicha recarga. Sin embargo, evidencias geoquímicas del agua muestreada así como la geomorfología y paisaje observados sugieren que la recarga de dichos flujos se realiza fuera del área de estudio.

Lo expuesto determina que la existencia de flujos intermedios, cuyas zonas de recarga aún no han sido identificadas con exactitud, pero como se indicó proceden del oeste y en menor medida del norte de la provincia de Buenos Aires, conducen o contribuyen a la ocurrencia de inundaciones en el área de estudio. Estos flujos explican la presencia de inundaciones y agua en exceso en superficie aún en época de escasa precipitación en el lugar, tal como se analizó en punto 4.1 sobre el clima y en las imágenes satelitales en punto 4.2.

Los flujos intermedios se producen por precipitación acaecida en sitios que se ubican más allá de los límites administrativos de la provincia de Buenos Aires. La precipitación elevada se suma a la situación descrita, teniendo ésta un mayor efecto directo en los flujos locales cuya presencia en superficie se hace evidente en zonas de descarga local en forma más rápida. Es de destacar, que las obras realizadas por el hombre, tal como se describen en detalle en antecedentes (punto 1.3 y 2.2) han agravado la situación natural de inundación en forma marcada.

c) Recarga y descarga de sistemas locales

Las zonas de recarga se reconocen en

- parte alta de dunas con suelo principalmente Udipsament típico y Hapludol éntico sin hidromorfismo ni salinidad-alcalinidad, y con relativa profundidad de la superficie freática (en general definida durante el periodo estudiado a más de 3m).

Son flujos de tipo local, se caracterizan por su calidad de agua con relativa baja salinidad y baja temperatura.

Las descargas de estos flujos se corresponden con suelos Hapludol éntico y Hapludol ácuico, con grado variable (usualmente incipiente) de rasgos hidromórficos, baja salinidad y alcalinidad.

4.7.2 Relación vegetación-suelo-agua subterránea: criterio de clasificación del paisaje

Esto también se realiza mediante la aplicación de los criterios y principios postulados en el apartado 2.4, para el procesamiento de la información obtenida, pero indicando con mayor detalle la forma en que se van dando las asociaciones entre los diferentes elementos y procesos de modo de poder extrapolar el procedimiento de análisis.

Esto es definir el funcionamiento del agua subterránea, zonas de recarga y descarga como *zonas que se complementan entre sí* en su funcionamiento químico, hidráulico, biológico, geomorfológico, edáfico dentro de un paisaje, para la elección de prácticas de manejo del suelo que coadyuven al control de la inundación. Se consideran además los resultados presentados en punto 4.6, relativos al análisis socio-económico y actividades productivas.

4.7.2.1 Sobre las relaciones entre elementos y procesos en el paisaje

Respecto a la relación **vegetación-suelo-relieve**, se indicó en antecedentes como se producen en punto 2.1.3.3. En punto 2.1.4, se indicó en detalle la composición de la vegetación y la forma en que esta evoluciona en sucesiones primarias y secundarias (punto 2.1.3.4). Los resultados sobre suelos y vegetación se presentaron en el punto 4.3, en el cual se incorporó parte de los resultados obtenidos del clima (4.1) y del procesamiento de imágenes (4.2) lo que en su conjunto permitió definir lo que a continuación se analiza.

Lo observado en el área de estudio de la presente tesis, es coincidente en líneas generales con lo indicado en la bibliografía (Gabellone *et al.*, 2003), ya que en los sitios bajos y deprimidos prevalece la *estepa halófila*, dominada principalmente por *Salicornia sp.* y *Distichlis sp.* Sin embargo, estas especies pueden estar presentes tanto en ambientes de descarga de flujo local o intermedio, lo que se modifica es el nivel de salinidad y alcalinidad, y principalmente la posibilidad de retrotraerse o no a su situación original.

Al respecto, se destaca lo indicado en punto 2.1.4 sobre sucesiones vegetales, etapas serales, comunidad climax, comunidad primaria y secundaria por Huss (1993), Boccaneli y Lewis (2006)

y en Glosario INE (2007). Se destacan aquí algunos de estos conceptos a fin de comentar las asociaciones encontradas en la presente tesis.

Resulta importante establecer, principalmente en los ambientes de descarga, a fin de identificar si se corresponde con un flujo local o intermedio, si una comunidad es la etapa final estable de una evolución, **clímax** (climático o edáfico), o es una etapa seral dentro de una **sucesión vegetal**, y consecuentemente pertenece a un cambio unidireccional como resultado de una modificación importante en el ambiente, tal como sería una inundación. Así, en la sucesión un estadio o comunidad vegetal sustituye a otra conforme se modifican las condiciones del habitat, pudiendo ser la **sucesión progresiva o regresiva**.

Tal como se detalla en punto 2.1.4, si se produce una alteración del clímax, por pastoreo, acciones antrópicas, inundación, quema, desmonte, otras, provocará la retrogresión de la sucesión; sin embargo, si se posibilita, la naturaleza restaura el daño mediante la sucesión secundaria, la cual será mucho más rápida que una sucesión primaria, porque el suelo ya está formado y con necesidad de ser restaurado al igual que su comunidad vegetal asociada.

Al respecto, Huss (1993) señala que una sucesión secundaria, es la que resulta de una retrogresión o degeneración, y es el reemplazo de una comunidad vegetal de orden ecológico superior por una comunidad de orden ecológico inferior. Así, tal como se describió en punto 2.1.3, al deterioro de la vegetación por excesivo pastoreo, inundación, le sigue la degradación del suelo, que se inicia por la pérdida de materia orgánica, estructura, y consecuente erosión. Si las alteraciones de la vegetación son extremas, se puede retrotraer a etapas iniciales de la sucesión primaria, pero si las condiciones edáficas cambian, también cambiará la nueva sucesión que conducirá a un nuevo clímax. Por el contrario, si la alteración se compensa o elimina oportunamente, la sucesión retrocede hacia el clímax inicial, y se denomina sucesión secundaria, es decir cualquier sucesión después de la sucesión inicial y primaria.

Estos conceptos, permiten apreciar que si bien es correcto lo indicado por diversos autores y descrito en detalle en los puntos 2.1.3.3 y 2.1.3.4, en relación con las asociaciones entre los elementos del ambiente, nivel de salinidad tolerado por la vegetación, y que la humedad y salinidad son los dos factores primordiales del suelo en la distribución de la vegetación, siendo entonces factible utilizar como se presenta en Tabla 2.7 especies indicadoras del nivel de salinidad (MAA, 1987a y 1987b; Krüger, 1992; Casas, 2003; Gambellone *et al.*, 2003; Chaneton, 2005), también es cierto que la bibliografía señala hechos que *a priori* resultan contradictorios, o al menos de una interpretación incompleta, lo cual es posible indicar se debe a que en el análisis de lo que se observa no se asocia al origen del efecto, el funcionamiento del agua subterránea.

En relación con esto último, se destaca lo indicado por Insausti *et al.* (en Oesterheld, *et al.*, 2005) respecto a que la inundación en un ambiente de pradera de mesófitas, con suelo libre de sales clasificado como *Hapludol*, *Argiudol*, y en el peor de los casos, *Natracuol*, revierte los efectos negativos del pastoreo al aumentar la biomasa de gramínoideas que compensa la disminución de dicotiledóneas que se produce por el excesivo pastoreo (sobrepastoreo). Esto muy posiblemente se vincula a que la inundación se produce en zonas que no son de descarga de flujos regionales ni siquiera intermedios, sino que son flujos locales, por lo que la calidad del agua que anega es de baja salinidad y el suelo tiene un flujo principalmente descendente de agua, de tipo percolante tal como se describió en punto (2.1.5.2. sobre clima edáfico).

Asimismo, León y Oesterheld (1982), León *et al.* (1984), Oesterheld y León (1987) (en PMI, 1999), haciendo referencia a la degradación producto del manejo agropecuario, indican que en algunos ámbitos la vegetación recupera su condición original si la presión de la agricultura es eliminada o disminuida, aunque esto ocurre en forma diferente según sea región de Pampa

Arenosa (sitio de la presente tesis) o Pampa Deprimida, hacia el este de la provincia de Buenos Aires. Omacini *et al.*, (1995) (en PMI, 1999) indican que en la Pampa Arenosa, la recuperación parece no ocurrir ni siquiera en plazo mayor a 10 años, y lo atribuyen a la fragmentación diferente del hábitat que genera la agricultura en uno u otro sitio. Si bien en estos trabajos no se analiza el funcionamiento del agua subterránea, muy posiblemente la velocidad y dirección en que los cambios ocurren se asocien a estos. Se destaca no obstante, como se analiza en punto 2.1.4, que lo indicado por estos autores puede vincularse con la fragilidad del suelo, según evolución, textura, contenido de materia orgánica, consecuentemente, a la capacidad de resistir cambios (poder buffer) o recuperarse cuando los mismos se han producido (resiliencia).

De los estudios presentados en antecedentes (punto 2.2) se destaca el trabajo realizado por Taboada *et al.* (2006), en el cual se realiza un pormenorizado estudio sobre las inundaciones en la región pampeana, su posible origen, y consecuencias sobre los suelos. Encuentran al igual que otros autores, mencionados en antecedentes, una vinculación directa entre la profundidad a la superficie freática y su efecto en el suelo, sin embargo, analizan un aspecto diferente, al percibir que existe diferente calidad de agua y efecto disímil sobre el suelo. Si bien no explican el origen de la diferencia observada, establecen la necesidad de definir si el agua tiene Cl^- , SO_4^{2-} , ó HCO_3^- , lo cual claramente implica la necesidad de definir la existencia de flujos de tipo local e intermedio con sus correspondientes zonas de recarga, tránsito y descarga (Tóth, 2000). Asimismo, Taboada *et al.* (2006), indican que la inundación con agua no salina, o de lluvia, representa un evento natural benéfico de la dinámica del suelo, lo cual es claro hacen referencia a flujos de agua local y es coincidente con lo indicado precedentemente por Insausti *et al.* (en Oosterheld, *et al.*, 2005).

Consecuentemente, resulta importante utilizar la información sobre salinidad, vegetación, suelo, relieve, en forma conjunta con los procesos que quedan definidos por los flujos de agua subterránea y superficial, de modo de establecer la magnitud y persistencia de una situación de degradación o si la misma, es la resultante de una condición climax edáfica. Esto es, apreciar por ejemplo, si la estepa halófila presente en un sitio dado, responde a una etapa seral, sucesión secundaria, por cambios originados por una inundación, pastoreo inadecuado, o es una resultante natural del tipo del suelo sobre el cual se desarrolla (climax edáfico).

En la presente tesis, se observaron suelos *Hapludol éntico*, que poseen una salinidad y alcalinidad elevada como consecuencia de inundación, tal como se muestra en Figura 2.33. Aquí, el ambiente posee alta salinidad, y alcalinidad, e incluso hasta el desarrollo de humatos sódicos, con estepa halófila de *Distichilis sp* y *Salicornia sp*, producto de la inundación el agua llega hasta el límite que claramente se observa en la Figura 2.33 en la vegetación. Este ambiente, aunque no se midió el agua por no disponerse de freatómetro o pozo, es un ambiente de flujos local, loma y media loma de médanos, con algunas depresiones y la salinidad-alcalinidad se retrotrae a una condición mejor si cambian las condiciones que la originaron. En la Figura 4.36 se aprecia claramente el límite en la vegetación.

Por el contrario, en la Figura 2.31 que muestra una depresión inter-medanosa, con agua y luego de retirada el agua de inundación, si la salinidad o alcalinidad permite el desarrollo de vegetación, será una estepa halófila, con desarrollo de *Distichilis sp* y *Salicornia sp*, pero en este caso, resulta ser la comunidad típica de estos suelos, con o sin inundación, ya que el suelo se corresponde con *Natracualf típico*.

Se destacan las asociaciones observadas entre suelo, composición florística y posición en el relieve, en el área de estudio (Bayón, comunicación personal), y resumidas en Tabla 2.8. Aquí por ejemplo, se destaca para una posición en el relieve de **bajo entre lomadas**, tres relaciones suelo-vegetación diferente: *Natracuol típico* con pH 9.5, RAS (relación de adsorción sodio) 9.3 y sin sales, dominada por *Cynodon dactylon*; en otro caso también sobre *Natracuol típico* con pH

9.1, RAS de 35 y CE de 4.1dS/m, dominada por *Puccinellia glaucescens*; y otro sitio con suelo *Hapludol típico*, pH ácido, sin salinidad ni alcalinidad, con pradera implantada de *Festuca arundinacea*, *Trifolium pratense*, y *T. repens*. Mientras que los dos primeros son zonas de descarga, posiblemente de flujo intermedio, en el último caso, aunque se encuentra en igual posición topográfica, es un área con características edáficas de zona de recarga, posiblemente de flujo local, sin embargo, por su posición podría salinizarse y alcalinizarse, siendo en este último caso una degradación temporal que conduciría a un reemplazo de la vegetación existente por vegetación halófitas dependiendo de cómo se produzca la inundación, y las propiedades del subsuelo, entre otras.

Asimismo, para otras posiciones en el relieve, se indican también suelo *Natracuol típico*, por ejemplo, en un bajo próximo a una laguna con pH 9, CE 13.6dS/m, con vegetación dominante de *Sarcocornia perennis* y *Distichlis spicata*, esta es una zona de descarga intermedia. Asimismo, sobre un suelo *Natracuol típico*, con pH 7.8 CE 5.06dS/m en un bajo tendido entre lomadas, prevalece *Distichlis spicata*. El mayor contenido de sales podría relacionarse con el desarrollo de *Salicornia* que no se dio en este último caso, sin embargo, con pH más alcalino, posición baja, se indicó vegetación *Cynodon sp.*, y *Puccinellia sp.*, en otro. Se destacan en todos estos casos, muy alto valor de RAS superior en general a 30.

Por último, se enfatiza en Tabla 2.8, la asociación entre suelo *Hapludol típico* en una media loma plana, con vegetación implantada y malezas (*Coryza bonariensis*, *Melilotus indicus*, y *Poa annua*), pH elevado 8.8, muy baja salinidad y alto RAS de 8.6. En este caso, muy posiblemente, este sitio se encuentre asociado a un ambiente de descarga de flujo intermedio en alguna parte próxima.

4.7.2.2 Sobre la relación suelo-vegetación-relieve-sistema de flujo

Si bien en punto anterior, se indicaron algunas de estas relaciones, a continuación se presenta una síntesis de lo obtenido en la presente tesis, y que fueron detallados en los puntos 4.3, 4.4, y 4.5.

Zonas de descarga de flujo intermedio identificadas se presentan en las siguientes Figuras:

- Figura 4.69, en un ambiente de laguna temporaria (sitio 13), Pehuajó, donde se aprecian condiciones diferentes en el desarrollo vegetal según el sector, y salinidad-alcalinidad desarrollada, estepa de halófitas dominada por *Distichlis spicata*, *Sarcocornia perennis*, *Bolboschoenus paludosus* y desarrollo de salitre sin vegetación con desarrollo aislado de *Distichlis spicata*.
- Figura 4.78, ambiente de suelo *Hapludol ácuico* (sitio 34) en la localidad de Berutti, Trenque Lauquen (suelo que también puede representar descarga de flujo local).
- Figura 4.84, se presentan una secuencia de ambientes degradados como consecuencia de la presencia variable de agua hasta un extremo de dos años (también presentada en párrafo anterior de ese apartado, Figura 2.28).
- Figura 4.84, se muestra una situación de muy alta alcalinidad y salinidad, con presencia de suelo con desarrollo de "salitre negro" (humato sódico), vegetación de tipo halófitas (*Distichlis sp.* y *Salicornia sp.*), y encostramiento en el suelo.
- Figura 4.89, Laguna El Hinojo.
- Figura 4.88, Laguna Las Tunas Grande (flujos intermedios y locales)

Zona de descarga de flujo local, se indican algunos ejemplos descritos en:

- Berutti, se presentó en Tabla 4.32 valores de salinidad-alcalinidad muy diferente para el agua subterránea un mismo sitio, lote, según haya afectado el agua de inundación y el sitio sea zona de descarga (o recarga), de flujo local e intermedio, y como la vegetación fue modificándose conforme esto

- especial en la Figura 4.81 donde se aprecia la secuencia de suelo que partiendo de loma se llega a un bajo con suelo y condiciones diferentes. Sin embargo, en la zona intermedia, se produjo una secuencia de condiciones de salinidad, alcalinidad, hidromorfismo, claramente visibles (Figura 4.82)
- la Figura 4.82, es un ambiente de cordones medanosos alargados integrado por *Hapludol éntico* y *Hapludol típico* (Tabla 4.39)
- la Figura 2.30, que fue comentada en párrafos anteriores (*Hapludol éntico*) posee una salinidad y alcalinidad elevada como consecuencia de inundación, con límites apreciables en la vegetación hasta donde llega el agua, que también se presenta en Figura 4.37
- la Figura 4.72, muestra un suelo con *Hapludol éntico* en el sitio 17, Pehuajó
- la Figura 4.76, presenta un suelo *Hapludol éntico* con *Triticum aestivum*, trigo, en un ambiente de loma alta en el partido de Carlos Casares (descarga flujo local)

Zonas de recarga local, presentan generalmente vegetación implantada. Se dan dos tipos principal de suelo, *Hapludol éntico* y *Udipsament típico*. Se presentan algunos ejemplos en las siguientes figuras:

- Figura 2.29, es un ambiente de loma, sin salinidad, suelo *Hapludol éntico*, condición de pradera antigua con vegetación natural o naturalizada que invadió el sitio, pradera mesófito, no afectada por inundación, con especies coincidentes con las indicadas por Gambellone *et al.* (2003) para estos ambientes.
- Figura 4.77, suelo *Hapludol éntico* en un ambiente de loma alta, partido de 9 de Julio.
- Figura 4.79, muestra suelos *Udipsament típico* y *Hapludol éntico*. En esta Figura, los ambientes del *Udipsament* corresponden con las partes más altas, generalmente crestas de lomas, donde la vegetación implantada puede ser pasto resistente a la sequía tal como *Eragrostis cúrvula* (pasto llorón). El ambiente de *Udipsament típico* se presenta también en la Figura 2.12 donde en la parte de loma más suave, se desarrolla el *Hapludol éntico*, donde se implantan cultivos cuyo resultado depende de la precipitación que recibe ya que el suelo no toma agua de la superficie freática (profundidad >3-4m).

Se destaca que en estos sitios los análisis químicos del agua los clasificaron como zonas de tránsito, por la profundidad de los pozos a la superficie freática; sin embargo, como se indicó, muy posiblemente, si se muestreara el agua subterránea más somera de la superficie freática, se identificaría recarga de flujo local, ya que el ambiente es de loma alta.

Zonas de tránsito de flujos local e intermedio, en éstas también se presenta suelo *Hapludol éntico*, en un ambiente general de lomas plana extendida.

- Figura 4.70, indica un ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 15, Pehuajó (tránsito intermedio)
- Figura 4.71, muestra un ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 16, Pehuajó (tránsito local)
- Figura 4.73, describe un ambiente y suelo *Hapludol éntico* en sitio 18. Pehuajó (tránsito local)

En las Tablas 4.36, 4.39, y 4.40, se presentan suelos asociados a estas zonas.

Se considera importante destacar en este punto los siguientes aspectos. En la presente tesis, se reconocieron suelos *Hapludol éntico*, *Hapludol ácuico* en estepa halófito, y a corta distancia de ambiente típico de descarga intermedia, tal como lo son las lagunas; así se reconoce que estos suelos con características extremas pueden soportar un patrón variado en vegetación. Esto puede ser en parte por causas antrópicas, sin embargo, denota que es posible implantar árboles en ambientes como estos e incidir en el agua presente logrando llegar a un equilibrio

entre aporte natural de agua por flujo subterráneo y su extracción por medio de vegetación. Esto se apreció en Laguna Murphy (Figura 4.87), a pocos metros de su orilla hay suelo desnudo, luego comienza a aparecer *Distichlis sp.*, luego *Cynodon sp.* y *Eucalytus sp.* (Tabla 4.39), y también se observa en Laguna Cuero de Zorro (Figura 4.90) con desarrollo en algunos sectores de estepa halófito, salina, soya, y álamos, y en Laguna de Cochicó (Figura 4.91) donde se encuentra implantada una variedad importante de especies arbóreas (Tabla 4.40). Lo aquí señalado requiere de investigación adicional, por la factibilidad potencial de realizar plantaciones sin afectar zonas agrícolas, abatir el problema de inundación para lo cual se debe considerar las implicaciones y ventajas socioeconómicas del caso.

Consecuentemente, por lo expuesto, no sólo en los suelos indicados por PMI (1999), Chaneton (2005 en Oosterheld *et al.*, 2005), se presentan en la estepa halófito, así como no todo suelo alcalino o salino se presenta en dicha estepa halófito. Existen variantes y una amplitud importante de condiciones, suelo, vegetación, relieve, condicionados principalmente por el sistema de flujo de agua subterránea al cual pertenecen las zonas de recarga, tránsito o descarga allí existente, por lo que resulta insoslayable establecer esta asociación a fin de dar conclusiones completas respecto al efecto de la inundación sobre la vegetación y viceversa.

*La sola presencia de una vegetación de **estepa halófito** no es indicadora del tipo de flujo presente.* Puede ser indicadora de zona de descarga, pero para asociarlo a un sistema de flujo debe realizarse una observación integral de todas las variables del paisaje, tal como se realizó en la presente tesis, e incluso es imprescindible efectuar al menos un análisis físico-químico básico del agua para establecer tendencias, bajo un análisis integrado que lleve a la comprensión del funcionamiento general del sistema agua-vegetación-suelo. Asimismo, la sola presencia de un suelo **Hapludol éntico**, y un ambiente general en apariencia elevado, debe asociarse ineludiblemente a una recarga, tal como sucede con los sitios 15, 16, 18 (aguas todas de freático), que son **zonas de tránsito de flujos locales** y que ocupan lomas planas extendidas.

Asimismo, como se indicó, incide la profundidad de muestreo; así, los sitios 22 y 23 (tránsito de flujo intermedio), 21, 29, 31, 32, 36 (tránsito de flujo local), y el agua que se extrajo a profundidad de hasta 40m (Tabla 4.41) proviene de la parte más somera del sistema de agua subterránea que podría responder al ambiente superficial de loma y suelo **Hapludol éntico**. Así se destacan los sitios 29 y 30, distanciados uno de otro por unos 100m, ambos en suelo **Hapludol éntico**, ambiente general de loma alta con *Udipsament asociado*, con una profundidad de extracción entre 40 y 20m, respectivamente. Esto permite definir una zona de tránsito de flujo local y una zona de recarga de flujo local para los sitios 29 y 30, respectivamente. Igualmente el sitio 32, es un ambiente de recarga con suelo *Udipsament típico*, donde el agua extraída a 28m perteneciente a una zona de tránsito de flujo local.

Tal como se menciona en punto siguiente, el hecho de que una zona de descarga se corresponda a flujos de agua de sistema local, intermedio o regional, modifica no sólo el tipo de sucesión secundaria de la vegetación sino también de la posibilidad y permanencia de los cambios en el suelo, y su manejo.

Sobre la taxonomía y la importancia de entender su alcance interpretativo

Previo a hacer referencia al manejo que debe o puede implementarse en un sitio, resulta pertinente hacer hincapié a lo indicado a continuación.

Si bien el nombre de un suelo a nivel de subgrupo (Soil taxonomy, 1999) informa sobre sus propiedades, debe quedar claramente comprendido que significa exactamente y hasta que punto resulta suficiente para establecer aspectos de manejo. En general, se puede afirmar, que resulta insuficiente, y tal como lo que se plantean desde esta tesis, no sólo deben estudiarse

otras propiedades de los suelos, sino además incorporar el estudio del agua subterránea, y sus relaciones.

Las propiedades diagnósticas que se incluyen en el sistema de clasificación de suelo en la categoría de subgrupos, que es la normalmente se utilizada, es un nivel taxonómico de clasificación que no siempre incluye características vinculadas con la salinidad y alcalinidad, debido a que pueden ser otras las propiedades diagnósticas importantes para su definición. Por ejemplo, un suelo es clasificado como *Hapludol éntico*, por tener escasa evolución, y la presencia de un horizonte diagnóstico A, no incluyéndose el grado de halomorfismo como propiedad diagnóstica, hecho que si ocurre a nivel de Serie (Tabla 2.4). Por el contrario, los suelos *Natracuolf*, o *Natracuol*, requieren para ser denominados así, la presencia de un horizonte B nátrico, y consecuentemente, no se tienen dudas sobre el riesgo de alcalinidad que poseen.

Un ejemplo claro de lo descrito en relación con la taxonomía, se aprecia en lo mencionado precedentemente en este apartado, Figura 4.82, donde en un ambiente de cordones medanosos alargados, integrado a nivel de subgrupo por *Hapludol éntico* y *Hapludol* típico en función del tiempo con anegamiento, desarrolla con diferente magnitud y tipo los rasgos hidromórficos (moteados y concreciones de Fe-Mn). En realidad, cambia la clasificación del suelo a *Haplacuol*, al modificarse el régimen de humedad del suelo, sin embargo, si esto es temporal, sigue siendo *Hapludol* (punto 2.1.5.2, sobre clima edáfico). Es importante cuando se consulta la cartografía de suelos, considerar el año en que la misma fue realizada, en general en Buenos Aires, comenzaron los estudios en 1956 y finalizaron aproximadamente en 1990, no obstante se encuentra muy incompleta o con escaso detalle en algunos sectores.

4.7.2.3 Elección de prácticas de manejo y actividad productiva a partir de definir los sistemas de flujo de agua

El conocimiento del funcionamiento del agua subterránea reconociendo la ubicación en el terreno de las zonas de recarga y descarga de los diferentes sistemas de flujo, permite manejar los ambientes como *zonas que se complementan entre sí* en su funcionamiento químico, hidráulico, biológico, geomorfológico, edáfico dentro de un paisaje determinado. De este modo se pueden elegir aquellas prácticas de manejo que coadyuven al control de la inundación.

Los suelos de zonas de descarga local presentan una productividad y posibilidad de manejo muy superiores a los suelos de las zonas de descarga de flujo intermedio. Los suelos de zonas de descarga de flujos intermedios sólo podrán ser manejados en forma complementaria en la medida que puedan identificarse sus zonas de recarga, que como se indicó se encuentran fuera de los límites estudiados. Se requiere entonces, ampliar los estudios a fin de definir con precisión los sitios por donde efectivamente el agua ingresa al sistema de agua subterránea de la provincia de Buenos Aires. No obstante, tal como se indica a continuación, es factible igualmente manejar las zonas de descarga de flujos intermedios, aún sin conocer su recarga, siguiendo el criterio que se analizó en punto 2.3.1.3, sobre el bio-drenaje.

Es fundamental lograr la complementariedad de actividades productivas a fin de incidir a nivel de *flujos locales*, esto resulta factible al ser relativamente fácil reconocer las zonas de recarga y descarga de dicho flujo, si se incorporan los criterios aquí propuestos sobre las relaciones entre el suelo, agua, vegetación y relieve. Incluso, se destaca, que sin disponerse de la evaluación de la calidad del agua en todos los sitios, la comprensión del sistema a partir de la elección de sitios estratégicos de muestreo del agua serán suficientes para extrapolar a mayores superficies.

Asimismo, en los sistemas locales, se tendrá una mayor posibilidad de éxito en los procedimientos de recuperación de zonas degradadas por inundación mediante el uso de cultivos herbáceos que tomen agua de la freática (tal como se describe en punto 4.6, basado en los antecedentes indicados en punto 2.3.2.2), ubicando dichos cultivos en lomas bajas o medias lomas que son las que normalmente colindan con las zonas de descarga local. Estos cultivos podrán efectivamente contribuir a disminuir el agua ascendente de las zonas de descarga local.

Es de destacar, que la elección correcta de los cultivos, y su ambiente, podrá evitar lo que con frecuencia se escucha por parte de los productores agropecuarios de la región, respecto a que una parcela pudo ser recuperada y progresó la pastura implantada, mientras que en otras parcelas, a priori semejantes, fracasaron. Esto no sólo implica menores costos, sino además un manejo eficiente del terreno que coadyuve al resto, en relación al manejo del agua (subterránea), por exceso o defecto.

Las plantaciones forestales en sistemas silvopastoriles o puras, conforme se indicó en punto 4.6, deben realizarse en ambientes que se encuentren vinculados a *flujos intermedios*, ya que son estos sitios los que efectivamente requieren una extracción o “bombeo” de agua importante, y no los flujos locales.

En la región noroeste, productores agropecuarios indican que las plantaciones con árboles generan amplios sectores a su alrededor con menor cantidad de agua asequible para los cultivos, hecho que puede no ser trascendente en épocas lluviosas; sin embargo, cuando se producen épocas secas las plantaciones se constituyen en un efecto negativo del entorno. Esto es debido posiblemente, a que los árboles fueron plantados en zonas de recarga local, tal como suele realizarse en la pradera pampeana, en los sitios más altos, donde se realizan las instalaciones de vivienda, molinos, y otras. Sin embargo, si estos fueran ubicados en ambientes donde la extracción de agua disminuye el aporte de agua que proviene de otros sitios, incluso de fuera de la provincia, la presencia de árboles no resulta negativo ya que efectivamente contribuirá a realizar acciones de bio-drenaje (punto 2.3.1.3).

Al respecto, se destacan los estudios presentados en antecedentes por diferentes autores (punto 2.3.2.2) respecto a los efectos contrapuestos según los sitios en que las plantaciones son realizadas tanto respecto a lo asequible del agua como en la salinización. Esto en la bibliografía es discutido y analizado desde diferentes perspectivas, pero en general, se aprecia que no incorporan el funcionamiento del agua subterránea, y al igual que lo indicado para la vegetación herbácea en punto anterior, conduce a interpretaciones incompletas.

Por lo expuesto, y dada la idiosincrasia del productor agropecuario pampeano, tal como se analiza en detalle en punto 2.1.7, y 4.6, las *actividades de silvopastoreo* resultan más apropiadas que la plantación pura, ya que resulta en un cambio intermedio, continúa con la ganadería y permite diversificar riesgos al incorporar la forestación. Se destacan la gran cantidad de ventajas que los sistemas silvopastoriles poseen para regiones semiáridas, y fueron expuestos en punto 2.1.7, por lo que aún en épocas de sequía podrían resultar ventajosos. En esto se destaca la importancia de la correcta elección y manejo de especies arbóreas, tal como se analizó en detalle en punto 4.6.

En relación con la **forestación sin ganadería**, según esquemas meramente forestales, resulta apropiado proponer se realicen en sitios excluidos de la actividad agropecuaria y que las mismas, surjan de *planes programados desde el estado nacional, provincial, o municipal*, con la correcta elección de sitios, y especies, conforme aquí se ha explicado (punto 4.5 y 4.6) pero no como se ha realizado hasta el presente, con planes aislados, sin control, y sin continuidad en el tiempo, lo que sin duda no sólo no contribuyen al efecto buscado, sino que además, genera en la comunidad en general, y en el sector agropecuario en particular, un descreimiento

generalizado a las acciones desde los organismos de gobierno. Las acciones suelen realizarse en respuesta a fuertes presiones sociales y económicas luego de hechos graves, y no de un análisis constante y completo de las circunstancias que los originaron.

Igualmente, en las **actividades acuícolas**, que se plantea se realicen en la región en punto 4.6, en lagunas permanentes (zonas de descarga de flujos intermedios) se requiere de una intervención activa del estado, incluyendo aspectos legislativos, administrativos, estudios ambientales, económicos, apoyo financiero, y programas que contemplen todas las particularidades de la actividad que se detallaron en punto de referencia (4.6).

Se destaca entonces, que no obstante hasta el “sentido común” lo indica, se recomienda que las acciones sean programadas a partir de conocer el sistema que se desea modificar, y si bien los tiempos políticos no suelen coincidir con los eventos naturales, sería posible al menos controlar o evitar las grandes catástrofes, tal como las vividas en la región del noroeste principalmente a finales del siglo XX, si se realizara una actividad permanente y sistemática de estudio integral del ambiente natural, y a partir de esto, actuar en consecuencia.

4.7.3 Alternativas productivas técnica, económica y ambientalmente factibles para la sociedad del noroeste de la provincia de Buenos Aires

En este punto se enfatiza y puntualiza lo indicado en punto anterior, respecto a las alternativas que efectivamente se recomiendan realizar en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, a partir de definir con mayor precisión lo que en esta tesis se inició, esto es, el funcionamiento del agua subterráneo a fin de manejar la producción agropecuaria y poder coadyuvar al control de inundaciones-sequías.

Las actividades propuestas surgen entonces de considerar los antecedentes, indicados en punto 2.1.7, referido a las características socio-económica (actividades productivas imperantes en la región, estructura y organización de empresas agropecuarias, implicaciones socio-económicas de inundaciones, sistemas productivos, limitaciones y potencialidades al desarrollo regional), y de la comprensión que se logra a partir de establecer las relaciones suelo-planta-agua subterránea-relieve, conforme aquí se propone.

A continuación se enuncian las recomendaciones presentadas en punto 4.6 y los ambientes en los cuales las mismas tendrían aplicación efectiva:

a- Mejorar y ajustar al ambiente los sistemas productivos actuales

- Implementar técnicas de manejo y uso de especies herbáceas conforme se describe en punto 2.3 sobre manejo de la vegetación y suelo, e influencia con el agua subterránea. Esto resulta aplicable a todos los ambientes, zonas de recarga y descarga local e intermedios.
- Para las especies capaces de aprovechar el agua de la superficie freática, hay que definir los ambientes, idóneos para su implantación, no sólo por sus características edáficas actuales, en relación con la salinidad y alcalinidad, sino también sobre la persistencia de estas propiedades. Las principales especies herbáceas capaces de tomar agua de la superficie freática, y apropiadas para la región son: *Glycine max* (soya); *Helianthus annuus* (girasol) y *Medicago sativa* (alfalfa). Esto debe realizarse en los sistemas de flujo de agua local, realizando la implantación de los cultivos en lomas o medias lomas colindantes a bajos anegables, en los cuales deberán incluirse especies conforme se indica en párrafo anterior.
- Realizar un manejo de los cultivos conforme a prácticas que garanticen máximos rendimientos y conservación del ambiente. Esto es también aplicable a diferentes ambientes, pero principalmente en flujos locales, que es donde deberían realizarse los cultivos de cosecha

anual, a fin de lograr no sólo alto rendimiento sino también preservar los ecosistemas naturalmente frágiles de la región, susceptibles en forma manifiesta a la erosión.

- Manejo de los cultivos herbáceos en forma combinada con especies arbóreas, tal como se analiza a continuación. Esto debe realizarse en ambientes de flujo intermedio, en los cuales la elección de los sitios correctos de especies arbóreas permitirá disminuciones al menos de sectores donde se podrá incorporar otros cultivos herbáceos.

b- Implementación de alternativas productivas, forestación y sistema silvopastoril

- Ambas actividades, la forestación pura, y los sistemas de silvopastoreo, deben realizarse en sistemas de flujo intermedio, en los sectores donde es posible que los árboles progresen para lo cual se requiere una correcta elección y manejo adecuado de las especies arbóreas.
- La *forestación pura* puede indicarse en ambientes donde no se realizan actividades agropecuarias, tal como los alrededores de al menos algunas lagunas donde se visualizan ambientes donde la forestación progresa.
- El *E. viminalis* y el *E. tereticornis* (eucaliptos colorados) se han usado localmente en cortinas de abrigo por lo que se debe contar con buena semilla y material adaptado. El abatimiento de la superficie freática puede ser atractivo al tenerse un “bombeo” por la vegetación, que para una densidad de 1,000 plantas/ha se estima extraerían un caudal continuo equivalente a 5-10 l/s dependiendo de factores varios del crecimiento del árbol y del clima. El costo de construcción de canales construidos para evacuar el exceso de agua representaría aproximadamente 4.3 millones de hectáreas forestadas (un 25% de la superficie de la Cuenca del Río Salado), lo que de realizarse bajo condiciones aquí recomendadas se tendrían además beneficios económico, ambiental y social.
- Las actividades de *silvopastoreo* además, podría proponerse en sectores ganaderos, próximos a las depresiones intermedanas, considerando además de la resistencia de los árboles al ambiente, la utilidad que los mismos tendrían sobre la ganadería.

c-Incorporar la acuicultura a los esquemas tradicionales agrícola-ganaderos

Si bien la actividad acuícola se desarrolla en forma variada en las lagunas que se indican en la Figura 2.18, y como se indicó en punto 4.6, muchos aspectos requieren ser mejorados o incorporados para un desarrollo económico, debería además, incorporarse la actividad acuícola comercial, principalmente del pejerrey, en lagunas permanentes de establecimientos agropecuarios. Todos estos ambientes, son de descarga de flujos intermedios. Se destacan las recomendaciones efectuadas en punto 4.6 para la realización de esta actividad, y muy especialmente el control de elementos contaminantes, tal como el As el cual fue identificado en la presente tesis en niveles excesivos y tóxicos en muchas aguas. Se destaca con niveles tóxicos, en las lagunas correspondientes a las Encadenadas del Oeste (Cochicó, Epecuén, y del Monte), y en Junín (lagunas Gómez y Mar Chiquita).

CONCLUSIONES

En capítulo 4, se presenta el resumen y conclusiones de cada uno de los temas principales analizados en esta tesis. Estos se dan al finalizar cada uno de los siguientes temas: clima (punto 4.1), imágenes satelitales (punto 4.2), suelo y vegetación (punto 4.3), modelación hidrogeoquímica (punto 4.4.1), modelación de flujo de agua subterránea MODFLOW (punto 4.4.2), y a continuación de estos dos últimos sub-puntos, conclusiones generales del tema 4.4, relativo al agua.

Aquí, se indican las conclusiones principales que responden en forma sintética con los objetivos planteados en la presente tesis, y que surgen del análisis pormenorizado de todo lo en ella descrito.

Sobre los procesos implicados en el fenómeno de inundación

- Los procesos implicados en el fenómeno de inundación se vinculan principalmente al funcionamiento hidrológico del área de estudio que recibe agua proveniente de otras áreas, y precipitación superior a la media promedio en forma generalizada en muchos sitios del país vinculados con la región del noroeste, la cual funciona como una gran zona de descarga de flujos intermedios. Esto en una geomorfología natural de escasa pendiente, y escorrentía casi nulo, definido por médanos, inter-médanos, y cubetas de deflación, donde obras de ingeniería afectan en grado variable dicha escorrentía. Las características de zona de descarga de agua subterránea, determinan la existencia de exceso hídrico en amplios sitios.
- El funcionamiento hidrológico del área de estudio definido por modelación hidrogeoquímica y MODFLOW, permite afirmar que el noroeste bonaerense presenta vinculación hídrica subterránea con áreas vecinas más allá de los límites administrativos. Se reconoce comunicación hidrológica por el oeste y el norte, por donde recibe agua, y por el este es donde sale hacia el mar (flujo regional). Por el contrario, el sur de la provincia de Buenos Aires no presenta comunicación hidráulica directa con otra área vecina.
- Los flujos de agua que inciden en forma marcada en la inundación son de carácter intermedio, ubicándose la región del noroeste en zona de descarga de dichos flujos. No se detectó en este estudio la zona de descarga del flujo regional, el cual inicia su recorrido subterráneo en las zonas de Mendoza y San Luis.
- El agua subterránea se concentra en forma centrípeta en los partidos de Pehuajó y Trenque Lauquen, desde diferentes sectores, principalmente oeste y norte.
- El alta elevación de la superficie freática en el noroeste, no puede explicarse por la precipitación allí acaecida, ni por la evapotranspiración. Los balances hídricos en general son negativos, excepto por los meses con cantidad muy elevada de precipitación cuando ésta supera a la evapotranspiración potencial.
- La modelación hidrogeoquímica y del flujo subterráneo con MODFLOW, permiten afirmar que la elevación de la superficie freática se deriva de flujo vertical que asciende desde profundidad, y que se produce por empuje de agua por debajo del sistema analizado. No existe aporte lateral de agua superficial entre lagos y lagunas que justifique el ascenso del nivel (freático) observado en campo.
- La composición química de las lagunas se explica por la mezcla de aguas somera y profunda, independientemente de la naturaleza del flujo.
- Esto lo muestra claramente la modelación, y es confirmado por imágenes satelitales que revelan una falta de correspondencia entre precipitación acaecida y agua presente en superficie, la cual sólo puede ser explicado por aporte de agua subterránea. Esto que es apreciable en el análisis temporal de imágenes entre 1999 y 2007, es más claramente observable en imágenes satelitales históricas (1980-1984) donde se aprecia incremento de agua en superficie incluso en época seca.

- Si bien, puede establecerse en forma general que existe correlato entre aumento de precipitación e inundación, esta vinculación no es tan directa cuando se analizan sitios individuales, lo cual revela una situación de precipitación generalizada en muchos sectores del país y la vinculación hídrica de las mismas con el área de estudio.
- En la Argentina ha habido en el siglo XX, un cambio en los patrones de lluvia, con tendencia a mayor precipitación en las regiones del centro y noreste del país, y disminuciones hacia el sudoeste. En general, los aumentos se producen en la década de 1970, aunque en algunos sitios ya se inicia en 1960 incluso 1950. Asimismo, ha habido un aumento de la temperatura media anual en la Argentina en el último siglo en aproximadamente 1°C. Estos cambios han incidido en el caudal de los ríos de las zonas cordilleranas y del centro del país.
- La ocurrencia cíclica de la precipitación es lo que caracteriza a todas las provincias y localidades analizadas. En Mendoza, San Luis, La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, las épocas secas alternan con húmedas.
- En el último ciclo húmedo la precipitación han tenido un corrimiento de las isohietas, que en general no supera los 200mm, en casos particulares puede llegar a 250mm. No obstante, para un periodo de aproximadamente 90-95 años, en la mayoría de los sitios, prevalecen años secos o normales sobre los húmedos.
- Para la región pampeana en general, el incremento en la precipitación media anual a nivel regional, y escala plurianual para los últimos 30 años fue aproximadamente en promedio 30% (entre 5-50%) que se traduce en un ascenso de la superficie freática a escala regional. En el sector del noroeste, hubo un aumento de 10 y 35% en la precipitación.
- Las variaciones a lo largo de la historia climática del país son indicadas desde el siglo XVI con diferente magnitud y dirección, vinculándose en general a los fenómenos de La Niña y El Niño. El ENSO que es un fenómeno planetario, en la Argentina ha permitido confirmar 20 acontecimientos entre los siglos XVI y XIX, con manifestaciones que se definen entre moderadas y severas.
- Durante los eventos cálidos, del Niño, aumenta la precipitación, y el caudal de ríos cordilleranos, asociado a grandes nevazones. Esto determina que además del aumento de la precipitación local y el caudal de ríos, tal es el caso de Mendoza. Sin embargo, estos eventos por si solos no explican la variación de precipitación, es también importante indicar que no se ha estudiado la influencia de océanos, circulación atmosférica y otras condiciones ambientales.
- Las variaciones en el clima no responden a un cambio climático, entendido este según Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, como causas antrópicas, sino que se enmarcan en el concepto de variabilidad climática (causas naturales). En el noroeste bonaerense, la alternancia de precipitación y sequía se registra desde el siglo XVII a la fecha, antes que se produjera la Revolución Industrial (1750-1820).
- En el país, se mencionan alteraciones climáticas que dieron origen al campo de dunas que actualmente caracteriza al noroeste bonaerense, en el Pleistoceno Tardío y en el Holoceno.

Sobre la identificación de zonas de recarga-descarga, correspondencia y origen mediante modelación geoquímica del agua subterránea

El análisis de diferentes modelos hidrogeoquímicos permitió definir el flujo del agua subterránea, en relación con su carácter regional, intermedio o local y a su vez dentro de este, si una zona se comporta como recarga, tránsito o descarga de dichos flujos.

Los estudios se dividieron en dos grupos principales en función del objetivo perseguido en:

- i) identificación de zonas de recarga, tránsito y descarga y tipo de flujo*
- ii) correspondencia entre zonas de recarga, tránsito y descarga con procesos y origen del agua*

i) identificación de zonas de recarga, tránsito y descarga y tipo de flujo

Se identificaron zonas de recarga, tránsito y descarga y flujos local o intermedio, por procedimientos de uso frecuente en el análisis de datos sobre la química del agua subterránea, tales como *clasificación de Kurlov con base en facies hidrogeoquímicas*, *diagrama de Stiff* y *diagrama de Piper*, y parámetros hidrogeoquímicos, sobre la forma en que se agrupa el agua de diferente calidad y la *evolución de su composición química* a lo largo de su trayectoria en las diferentes partes del área de estudio. A partir de esto, se definió en forma general que:

- Las zonas de Mendoza y San Luis, son zonas de recarga regional, si bien algunos de los sitios de muestreo se correspondieron con zonas de tránsito e incluso de descarga local, mientras que la provincia de Buenos Aires es zona de descarga de flujos intermedio y local.
- En análisis de mayor detalle, dentro de la provincia de Buenos Aires, se reconocen zonas que funcionan como recarga local y un alto número de sitios son de descarga de flujos local e intermedio. Esta distinción determina funcionamientos muy diferentes ante prácticas de manejo agropecuario y forestal.

Con mayor detalle, se indican para este punto las siguientes conclusiones:

- El movimiento del agua se produce desde la *zona de recarga* de los *flujos local e intermedio hasta su zona de descarga*, estas últimas usualmente en lagunas de Buenos Aires, que es donde es factible inferir que exista mezcla del agua de estos flujos con agua de carácter más profundo y regional.
- El agua tiende a evolucionar por lo general, desde facies de tipo *sulfatada-bicarbonatada* y *bicarbonatada-sulfatada*, hacia facies *bicarbonatada-clorurada*, seguida de *clorurada-bicarbonatada*, hasta facies *clorurada* y *clorurada-sulfatada*. En relación con los cationes, la evolución va desde *cálcica* hasta *sódica*.
- En la provincia de Mendoza, prevalece el Grupo 1, tipo *sulfatada-cálcica (recarga-tránsito)* algunas con ligera tendencia clorurada y sódica (descarga); y en la provincia de San Luis el Grupo 2, *bicarbonatada con tendencia a sulfatada (recarga)*, con predominio de *cálcica a sódica*.
- En los partidos analizados en provincia de Buenos Aires prevalece el Grupo 5, agua de tipo *clorurada-sódica* con tendencia a *clorurada-sulfatada* (descarga). Esto caracteriza a las lagunas, pero también aparece en otras manifestaciones, pozos, freático. Le siguen en importancia el Grupo 4, *clorurada bicarbonatada*, principalmente *sódica*, y luego el Grupo 3, *bicarbonatada-sódica*, con tendencia a *clorurada-sulfatada*.
- En el diagrama de Piper–Hill, se confirma lo indicado precedentemente, las aguas se agrupan en grupos que se orientan siguiendo una tendencia al incremento del contenido de Cl^- y Na^+ . Así, en Buenos Aires prevalece como catión el Na^+ y como anión el Cl^- , ambos característicos de zonas de descarga, sin embargo, también se indican en freáticos y pozos, aguas con otros aniones, principalmente HCO_3^{2-} que indican zonas de recarga.

ii) correspondencia entre zonas de recarga, tránsito y descarga con procesos y origen del agua

A fin de establecer si las zonas de recarga-tránsito de Mendoza y San Luis, son las que se corresponden con las descargas regional o intermedia identificadas en Buenos Aires, se utilizaron modelos hidrogeoquímicos tales como *análisis del estado de equilibrio*, *balance de masas*, *mezcla de aguas*, y análisis de la composición de los *componentes minoritarios*, *tierras raras* (sus relaciones), y de *isótopos*. Estos procedimientos permitieron definir procesos de interacción agua-roca que originan la composición química de las aguas superficial y subterránea de la región. Es factible postular la siguiente conclusión general:

- A partir de esto, se indica que el agua de las diferentes provincias involucradas no tienen igual origen. Así, las zonas de recarga-tránsito en Mendoza y San Luis no se corresponden con las zonas de descarga identificadas en Buenos Aires.

Con mayor detalle, se indican para este punto las siguientes conclusiones particulares:

- En el agua de Mendoza, San Luis, Trenque Lauquen, Pehuajó y otros sitios de la provincia de Buenos Aires, intervienen procesos de disolución de *halita*, *yeso*, *biotita*, *albita*, *anortita* y *K-feldespatos*, mientras prevalecen procesos de precipitación de *calcita*. En el caso de las lagunas, se encontró que se originan también procesos de precipitación de *halita* y ocasionalmente *dolomita*. Estas diferencias son explicadas por el aporte de agua en forma difusa desde profundidad. Si bien, se obtuvo que los *procesos geoquímicos* que dan origen al agua de las diferentes manifestaciones son similares con base en una composición similar de minerales probables presentes, la proporción en que ocurren los *procesos de intemperismo* es diferente.
- La **composición de los componentes minoritarios**, y las relaciones entre algunos **metales de tierras raras** indica que el agua de las lagunas no se genera por la evaporación del agua captada por los pozos de Mendoza, tampoco presenta relación con los pozos restantes (Trenque Lauquen, Pehuajó, Carlos Casares) como tampoco con el agua superficial muestreada. Se destaca, que el Li es conservativo y no sale de solución durante procesos de precipitación de minerales, al comparar su contenido en los pozos de la provincia de Buenos Aires, éste es menor que en los de Mendoza.
- Con variaciones en algunos elementos, se aprecia que la salinidad en las lagunas es mayor que la del agua superficial, sub-superficial, y pozos. Los pozos profundos tienen mayor salinidad que el agua superficial y sub-superficial (freatímetros).
- El agua de las lagunas proviene de diferente origen al de otras manifestaciones y no se genera por la evaporación del agua captada por los pozos de Mendoza, tampoco presenta relación con los pozos restantes de Trenque Lauquen, Pehuajó, y Carlos Casares, como tampoco con el agua superficial muestreada.

Sobre la identificación en imágenes satelitales de sitios afectados (suelo-vegetación), y posibles zonas de recarga y descarga

- El uso del algoritmo *Tasseled Cap* (combinación de bandas de imágenes satelitales georreferenciadas), con una profundización de las asociaciones entre lo observado en las imágenes, y variables medidas en el terreno se presentó como una herramienta apropiada para contribuir a definir las zonas de descarga de agua subterránea e inferir las de recarga.
- Este algoritmo, permite discriminar claramente cuerpos de agua, humedad, características de suelo asociado y consecuentemente, diferenciar entre sectores afectados de los no afectados por inundación. Las variables del terreno que se asocian con la degradación edáfica y lo observado en las imágenes satelitales son: conductividad eléctrica, vegetación asociada, y materia orgánica edáfica.
- El nivel del agua superficial no aumenta o disminuye en un sitio u otro, sólo en función de la pendiente regional, local, y precipitación acaecida. Se observa incluso en un gran número de imágenes una ausencia de continuidad en la escorrentía superficial del agua, y cobertura de agua irregular atribuible sólo al aporte de agua subterránea, los **modelos de elevación** pueden coadyuvar en la definición de la escorrentía y prever su dirección en eventos futuros.
- Por lo expuesto, resulta esencial definir los sitios donde se produce aumento de agua de origen subterráneo, y que funcionen como **zonas de descarga** de flujos regional o intermedio. Un estudio temporal más detallado de las imágenes satelitales permitirá definir la gran cantidad de zonas que aquí se han reconocido como de descarga intermedia y discriminarlas de aquellas de descarga local que se vinculan en forma más directa con la precipitación acaecida en el área.

Sobre el tipo de suelo-vegetación en la identificación de zonas de recarga o descarga

- La sola presencia de un tipo de vegetación, suelo, y geomorfología local, en especial cuando han sido alterados por el hombre no es suficiente indicador de la existencia de un tipo de sistema de flujo dado y zonas dentro de éste, deben complementarse con geomorfología más general del área, y definir la calidad fisicoquímica del agua y la profundidad a la cual fue extraída. No obstante, pueden establecerse tendencias claras.
- Los suelos de zonas de recarga se correspondieron con suelos clasificados como *Hapludol éntico*, *Udipsament típico*, sin rasgos de hidromorfismo, y sin salinidad-alcalinidad. Sin embargo, en estos mismos sitios se identifican también zonas de tránsito de flujos intermedio o local, dependiendo de la profundidad de muestreo del agua.
- Las zonas de recarga que han sido claramente identificadas en el presente trabajo están relacionadas con **flujos de tipo local** las cuales corresponden a la parte alta de las dunas donde el tipo de suelo arenoso, sin salinidad, la relativa profundidad de la superficie freática y la calidad del agua con relativa baja salinidad y baja temperatura las hace evidente.
- Los suelos de descarga se correspondieron con suelos clasificados como *Natracuol*, *Natracualf*, *Hapludol ácuico*, y también con *Hapludol éntico*, pero en este caso con hidromorfismo, salinidad y alcalinidad.
- Las zonas de descarga se caracterizan por tener morfología plana, suelo salino, nivel freático somero, agua subterránea salina con bajo Eh, alto pH, y presencia de cuerpos permanentes de agua. Los flujos que se manifiestan a través de dichas condiciones de descarga son en general **flujos de tipo intermedio**, que se pueden diferenciar de los locales porque tienen un contenido elevado de salinidad y una calidad sódico-clorurada.
- La magnitud y tipo de salinidad permite establecer como persistirán las propiedades edáficas en función del manejo agropecuario-forestal implementado.
- Igualmente, la vegetación permite identificar zonas de recarga y descarga, siendo más difícil establecer si se corresponden a flujos local o intermedio. El tipo de vegetación natural que se desarrolla en ambientes de descarga suelen ser de unas pocas especies vegetales, a partir de un valor dado de conductividad eléctrica y alcalinidad, mientras que en las zonas de recarga hay cultivos o pasturas implantadas.
- En la región de estudio, las zonas con descargas de flujos intermedios se corresponden con presencia de humato sódico en superficie y muy escasa cobertura vegetal a nula. Alta cobertura vegetal con comunidades halófitas e hidrófitas en general se corresponden con descarga local.

Sobre las propuestas productivas económica, ambiental y socialmente viables para la región del noroeste bonaerense

- Resulta necesario perfeccionar los sistemas productivos actuales e incorporar alternativas de manejo del ambiente que no sólo mejoren el resultado económico de la empresa agropecuaria, sino también coadyuven en la problemática de sequía e inundación alternantes, a modo de garantizar la sustentabilidad de las actividades en términos productivos, económicos, sociales y ambientales.

A forma de conclusiones se recomiendan tres tipos de acciones:

a) *Mejorar y ajustar al ambiente los sistemas productivos actuales*, utilizando la tecnología aprovechable y no utilizada actualmente que permitirá mejorar el resultado productivo, económico y ambiental de las actividades agropecuarias tradicionales. Se destaca el manejo de cultivos y ganadería según prácticas conservacionistas y ajustadas a las condiciones imperantes del sitio.

b) *Implementar otros sistemas productivos*: forestación y sistemas silvopastoril.

- La implementación de sistemas silvopastoril resultan viables en términos económico, ambiental y social. Estos deben programarse conforme al funcionamiento del agua subterránea (zonas y tipo de flujo).
- Se recomiendan especies nativas como *Prosopis sp.*, a cuyo resultado económico debe incorporarse el resto de beneficios que podría representar en el esquema general de la empresa agropecuaria y en el ambiente en general; y como especies exóticas al *Pinus taeda* y *E. viminalis*, y en menor medida el *E. tereticornis*. Se destaca que si bien el *P. taeda* tendría restringida su localización a suelo con pH ácido en todo el perfil, y está muy poco estudiado para la región, es de una gran plasticidad y produce madera de buena calidad en turnos medios por lo que podría analizarse con mayor detalle su utilidad en la región.
- La idiosincrasia del productor agropecuario pampeano, sugiere que la actividad de silvopastoreo sea más apropiada que la plantación pura.
- Sería interesante evaluar el efecto del subsidio en la viabilidad financiera de especies de bajo retorno como *Prosopis sp* y debería también considerarse e incorporarse al resultado total de la empresa agropecuaria otros beneficios que esta especie reporta.
- El abatimiento de la superficie freática por biodrenaje (plantación forestal) puede ser importante al tenerse un “bombeo” de agua por la vegetación, estimándose que para una densidad de 1,000 plantas/ha podría extraerse un caudal continuo equivalente a 5-10l/s dependiendo de varios factores del crecimiento del árbol y clima.
- El Estado debería realizar programas y acciones que fomenten la actividad de silvopastoreo como alternativa que no sólo coadyuve con el control de inundaciones sino que además posibilite un desarrollo sustentable de las actividades agropecuarias.
- La Argentina no posee actualmente Programas de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, tal como ocurren en otras partes del mundo y los resultados indican la pertinencia de incorporar esta región a dichos programas.
- En relación con el efecto ambiental de los árboles, si bien se advierte sobre el posible peligro que corren las grandes plantaciones en época seca, o sobre la salinidad, existe suficiente información a nivel mundial que muestran la utilidad de la implementación forestal, aún en sitios con régimen hídrico semiárido, por sus acciones de biodrenaje y de control de la superficie freática, debiendo entonces, hacerse hincapié y profundizar, los estudios que posibiliten definir los sitios donde efectivamente la actividad silvopastoril y forestal, coadyuve al control de situaciones climáticas extremas, esto es, definir zonas de recarga y descarga de flujos de agua subterránea específicos.
- Ambas actividades, la forestación pura, y los sistemas de silvopastoreo, deben realizarse en zonas de descarga asociadas con sistemas de flujo intermedio (dependen menos del cambio en el clima) en sectores donde es posible que los árboles progresen, para lo cual se requiere una correcta elección y manejo adecuado de las especies arbóreas.
- Las actividades forestal y silvopastoril en el control del agua por inundación se perfilan como de mayor provecho económico, social y ambiental ya que no requieren del costoso mantenimiento de un dren o canal, no expulsan suelo, y al final se tendrá una reserva forestal con un valor económico y paisajístico único.

c) Incorporar la *acuicultura* hacia esquemas tradicionales agrícola-ganadero

- La actividad presenta ventajas socio-económicas y ambientales por lo cual es deseable fomentar el desarrollo comercial de la acuicultura, especialmente el pejerrey en lagunas.
- La acuicultura puede realizarse en forma complementaria a otras actividades tradicionales del establecimiento agropecuario con muy buen resultado económico.
- Puede tener un importante impacto en la generación de empleo, principalmente en emprendimientos regulados desde el Estado o privados, como cooperativas.

- Puede constituirse en una alternativa que coadyuve al control de inundaciones por el consumo de agua no aprovechable para otro uso, y otras actividades asociadas o complementarias.
- El Estado debe evaluar la actividad como una alternativa que no sólo contribuye a regular el exceso hídrico, sino también posibilidad de generar ingresos, mano de obra, y mejorar la situación socio-económica de un amplio estrato social, propietario de superficies pequeñas o sin ellas.
- El Estado debería apoyar, regular y fomentar el desarrollo de esta actividad, propiciando el estudio e investigación. Actualmente presenta serias restricciones de índole legislativa, administrativa, técnica y financiera (crédito).
- El Estado debe desarrollar acciones y programas que fomentan la incorporación de actividades de acuicultura y silvopastoreo a esquemas tradicionales de producción.
- Las ventajas social, económica y ambiental de las actividades acuícola y del silvopastoreo, deberían ser incorporadas en forma efectiva en las tareas que implementa el Estado para coadyuvar con el control de inundaciones, ya que la construcción de canales no sólo resulta conflictiva en muchos aspectos, sino que además es claramente insuficiente y no representa beneficio económico alguno.

Sobre el procedimiento de integración de variables para manejar el ambiente

- La aplicación del criterio de funcionamiento de los sistemas de flujo de agua subterránea es la herramienta que permite estudiar el paisaje en sus aspectos técnico-ambientales, y a partir de esto, posibilita un desarrollo socio-económico con sistemas productivos sostenibles. Así, este criterio de análisis permite integrar elementos del paisaje y además considera los procesos que definen el funcionamiento del sistema suelo-agua-planta.
- Al definir el funcionamiento del agua subterránea, zonas de recarga y descarga como elementos que se complementan entre sí en su funcionamiento químico, hidráulico, biológico, geomorfológico, edáfico dentro de un paisaje, se posibilita la elección de prácticas de manejo del suelo que coadyuven al control de la inundación, y que las mismas resulten además en beneficios de tipo económico y social.
- Debido a que el agua subterránea es el elemento mayoritario (al compararlo con el uno por ciento de agua superficial) y de sensibilidad de impacto al ambiente, la implementación de prácticas de manejo sin un conocimiento pleno de su funcionamiento impide garantizar que dichas prácticas progresen y coadyuven en el control o recuperación de degradaciones edáficas, así como en el control de inundaciones o anegamientos por elevación de la superficie freática.

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. Vol 17, Washington, DC.
- AACREA, Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria. 2003. Acuicultura. Agroalimentos Argentinos II: 261-268.
http://www.aacrea.org.ar/economia/articulos/pdf/aaii_34_acuicultura.pdf
- AACREA, Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria 2005, 2006. Serie de Precios agropecuarios. <http://www.aacrea.org.ar/soft/series.htm>
- AACREA, Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria. 2007. Suplemento Económico, mes de octubre. <http://www.aacrea.org.ar/economia/maing.htm>.
- Agrodiario. 2007. Argentina: el pejerrey un buen negocio. Artículo en publicación periódica.
<http://www.agrodiario.com.ar>
- Aiello, J.L. 2005 Calentamiento global y cambio climático: su incidencia en los recursos hídricos pampeanos Ponencia, en Primer Congreso Pampeano del Agua. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Ambast, S.K., S.K. Gupta and S. Gurbachan. 2007. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India, 231p.
<http://www.cssri.org/Books.htm>
- Ameghino, F. 1884. Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. 5º Edición, Ministerio de Asuntos Agrarios de pcia Bs As. 62p.
- ArRiyadh City. 2005. Groundwater level rising problems. Program to control groundwater level and the suggested solutions. Web-site ArRiyadh City.
- Auge, M.P. 1986. Hydrodynamic behaviour of the Puelche aquifer in Matanza River basin. Ground Water, 24(5): 636-642.
- Auge, M. 2004. Notas, Curso Latinoamericano: Vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea metodologías, resultados y perspectivas, Santa Fe, Argentina noviembre 22-26, AIH, ALHSUD, UCSF, CYTED, INA-CRL, en CD
- Auge, M.P. y Hernández, M.A. 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado en la llanura bonaerense. Coll. Int. Hid. Grandes Llanuras, UNESCO, Buenos Aires, 1021-1041.
- Auge, M.P., R. Méndez Escobar y M.I. Nagy. 1988. Hidrogeología del Partido de Salliqueló, Provincia de Buenos Aires. Revista Asociación Brasileña Aguas Subterráneas, V12, 75-90.
- Auge, M.P. y Strelczenia, V.B. 1990. Características hidrogeológicas de Azul, provincia de Buenos Aires. VI Cong. Brasileño Aguas Subterráneas. Anales: 77-81.
- Baigorri, H. 2004. Criterios generales para la elección y el manejo de cultivares en el cono sur. 39- 77. En Díaz Zorita, M. (Ed). Manual práctico para la producción de soja. Hemisferio Sur, SA. 256p.
- Baigorri, H.E.J, J.M. Cisneros, M. Estenssoro, E. Martini, S. Rang, J.C. Sardoy y S. Begnis. 2003. Aprendiendo a utilizar la napa freática en la producción de soja. <http://www.elsitioagricola.com/>
- Banco Mundial. 2006. Environmental Services Project. Environmentally and Socially Sustainable Development Sector Management Unit. Colombia and México Country Management Unit. Latin America and the Caribbean Region. Report No. 33228-MX: México.
- Barakat, F. y A. Handoufe,. 1998. Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. Sécheresse 9(3): 201-208. En: definición de sequía
http://www.sequia.edu.mx/proyectos/monitoreo/acerca_de_la_sequia.htm
- Batista, W., M. Taboada, R. Lavado, S. Perelman, y R. León. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos en pastizales de la Pampa Deprimida. p113-127. En Oesterheld, M., M.R. Aguiar, C.M. Ghersa, y J.M. Paruelo (Ed). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Bell, R.W., N.J. Schofield, I.C. Loh y M.A. Bari. 1990. Groundwater response to reforestation in the Darling Range of Western Australia. Journal of Hydrology, V 115(1-4):297-317

- Belli, E. y A. Benassi. 2005. Planeamiento Paisajista y Medio Ambiente. Carrera de Especialista en Planeamiento Paisajístico y Medio Ambiente, Vol. I, UNLP. (Editores) 203p.
- Berasain, G., D. Colautti y M. Remes Lemicov. 2000a. Laguna Cochicó, Partido de Guaminí. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N° 24. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 22p.
- Berasain, G., D. Colautti, y M. Remes Lemicov. 2000b. Laguna de Gómez, Partido de Junín. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°28. 19p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.
- Berasain, G., D. Colautti y M. Remes Lemicov. 2001. Cochicó, Partido de Guaminí. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°29. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.22p
- Berasain, G., M. Remes Lemicov y D. Colautti. 2001. Laguna de Gómez, Partido de Junín. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°36. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 16p
- Berasain, G., y M. Remes Lemicov. 2005. Lagunas de Mar Chiquita, Carpincho, y Gómez, Partido de Junín. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°74.. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 30p
- Berasain, G., y F. Argemi. 2006a. Laguna Cochicó, Partido de Guaminí. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N° 90. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 20p.
- Berasain, G., y F. Argemi. 2006b. Laguna La Salada, Pehuajó. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°86. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.18p
- Berasain, G., y F. Argemi. 2006c. Lagunas Mar Chiquita, Carpincho, y Gómez, Partido de Junín. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°89. 24p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.
- Berasain, G., y F. Argemi. 2007a. Laguna Cuero de Zorro Partido de Trenque Lauquen. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°95. 18p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.
- Berasain, G., y F. Argemi. 2007b. Laguna Las Tunas, Partido de Trenque Lauquen. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°94. 20p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.
- Berasain, G. y F. Argemi. 2007c. Laguna Hinojo Grande. Partido de Trenque Lauquen. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°98. 16p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires.
- Black, C.A. 1965. Methods of soil analysis. Agronomy N°9 Part 1. 770p.
- Boccanelli, S.I. y J.P. Lewis. 2006. Breve revisión sobre el desarrollo de los conocimientos sobre la dinámica de la vegetación. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Rosario, Argentina. V10: 37-43.
<http://biblioteca.puntoedu.edu.ar/dspace/handle/2133/798>
- Bohn, V. Y, M.E. Perillo y M. C. Píccolo. 2004. Calidad y aprovechamiento del agua de la Laguna Unamuno (Buenos Aires, Argentina) Universidad LR, España, Papeles de geografía N° 40: 173-186. <http://www.um.es/dp-geografia/papeles/n40/10-CALIDAD.pdf>
- Bonorino, A.G. 1988. Geohidrología del sistema hidrotermal profundo de la región de Bahía Blanca. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur.278p.
- Bonorino, A.G. y M.O. Panarello.1984. Isótopos estables del oxígeno en el agua subterránea del acuífero profundo de Bahía Blanca. Asoc. Geol. Argentina, Buenos Aires. Rev.39(1-2):107-117.
- Borda, M.R. 2001.Lluvia y evapotranspiración mensual, serie 1938/2001 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Chacra Experimental Integrada Barrow Convenio Ministerio Asuntos Agrarios Pcia. Buenos Aires. <http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agrometeo/evapotrans>
- Boveri, M.B. y R. Quirós. 2002. Tropic interactions in pampean shallow lakes: evaluation of silverside predatory effects in mesocosm experiments Verh. Internat. Verein. Limnol. 28: 1–5
<http://www.agro.uba.ar/users/acuatica/MyStudentsStuff1/boveri-478b.pdf>

- Bovino, S.M. 2006. Revalorizar al caldén. Una especie nativa única de la Argentina y del mundo. SAGPyA Forestal 2 N° 37. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/revista37>
- Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Ed. Blume. Madrid, 820 p.
- Browna, A.E., L. Zhangb, T. A. McMahonc, A.W. Westernc, R. A. Vertessyb. 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310: 28-61.
- Burkart, S.; M. Garbulsky; C. Ghersa; J. Guerschman, R. León; M. Oesterheld; J. Paruelo, y S. Perelman. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. 379-395. *En* Oesterheld, M., M.R. Aguiar, C.M. Ghersa, y J.M. Paruelo (Ed). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Cabral, M. y M Hurtado. 1990. Riesgo de inundación en el área sur de la Pampa Arenosa. I Simposio Latino-americano sobre Risco Geológico Urbano, Sao Paulo, Brasil. Actas: 31-41.
- Cabral, M.; González, N.; Giménez, J.; Hernández, M., Hurtado, M. 1996. Análisis geo-ambiental de la región semiárida del noroeste de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional Geología Ambiental y Ordenamiento del Territorio. VIII: 345-364.
- Canevari, P., D.E. Blanco, E. Bucher, G. Castro e I. Davidson. 1998. Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. Publicado por Humedales para las Américas. Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la República Argentina. Wetlands Internacional-publicación N°46. 208p.
- Carballo, S. 2002. Las inundaciones pampeanas. Conferencia Bolsa de Cereales de Buenos Aires. <http://www.inta.gov.ar/bn/boletines/n9.htm>
- Caro, L.A., E.C. Pitsch, J.G. Boyer, M.S. Fuertes, M. Cordisco y M. Gandini. 2005. La forestación como instrumento para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos tradicionales de la región semiárida del sur de la Pcia. Buenos Aires. XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Argentina. <http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2005/posters05>
- Carrillo-Rivera, J.J. 2000. Application of the groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins. *Hydrogeology Journal*, V8 (5): 503-520.
- Carrillo-Rivera, J.J., A. Cardona, W.M. Edmunds. 2002. Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions to control high-fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosí basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 261: 24-47.
- Carrillo-Rivera, JJ; I, Varsányi; LÓ, Kovács y A.Cardona. 2007. Tracing groundwater flow systems with hydrogeochemistry in contrasting geological environments. *Water, Air and Soil Pollution*, 184:77-103.
- Casagrande, G, G.Vergara, E. Sierra y S. Perez. 2000. Tendencias de las precipitaciones (1921/1998) en el centro-este de la provincia de La Pampa. VIII Reunión Argentina de Agrometeorología, Mendoza. 15p.
- Casas, R. 2003. Estrategias de recuperación post-emergencia de los suelos afectados por las inundaciones. Capítulo 14: 217-229. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Castaldo, O. 2003. Caracterización de los sistemas de producción bovina (invernada) en el nordeste de la provincia de La Pampa (Argentina). Modelos de gestión. Tesis doctorado, Universidad de Córdoba. Facultad de Veterinaria Departamento de Producción Animal. 298p. http://www.uco.es/organiza/departamentos/prod-animal/economia/aula/img/pictorex/02_17_18_ariel.pdf
- Castro, M. 2004. Evolución de los márgenes brutos agrícolas. Área de Economía de AACREA. <http://www.aacrea.org.ar/economia/articulos/pdf/art277d.pdf>
- CFI, Consejo Federal de Inversiones. 1980. Estudio de la zona deprimida del Salado. Programa para el control de las inundaciones, sequías, y el desarrollo agropecuario. Informe CFI, 16 Volúmenes, Anexos, y Mapas. Tirada reducida.
- Chaneton E.J. 2005. Factores que determinan la heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. 19-38. *En* Oesterheld, M., M.R. Aguiar, C.M. Ghersa, y J.M. Paruelo (Ed).

- La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Cheng, J. D., L. L. Lin and H. S. Lu. 2002. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, V165(1-3):11-28.
- CIMA-CONICET-Hidroestructuras S.A. 2006. Informe Final B-2 Vulnerabilidad de la Pampa Bonaerense 113p. http://aplicaciones.medioambiente.gov.ar/archivos/web/ucc/file/vulnerabilidad_zona
- Cingolani, C. A. 2005. Unidades morfoestructurales y estructurales menores de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capítulo II: 21-30.
- Claassen, H.C. 1982. Guidelines and techniques for obtaining groundwater samples. National Engineering Laboratory, USGS
- Colautti, D., C. Velasco y G. Berasain. 1998. Las Tunas Grandes Partido de Trenque Lauquen. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°11.. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaría de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 26p. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- Colautti, D.; M. Remes Lemicov; G. Berasain y M. Álvarez. 1999. Estudio de las lagunas de los Partidos de Trenque Lauquen y Rivadavia para su manejo integral. Informe técnico N°16. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaría de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. 22p. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- Colautti, D.; M. Remes Lemicov y G. Berasain. 2002. Vulnerabilidad del pejerrey "Odonthestes bonariensis" a la pesca deportiva, en función de su condición. http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/archivos/publi_cienti/VULNERABILIDAD%20DEL%20PEJERREY.pdf
- Collado, A. y M.M. Hellmers de Costanzo. 2003. Riesgos ambientales de un modelo productivo no tradicional en la provincia de San Luis. http://www.inta.gov.ar/sanluis/info/documentos/SIGySR/Riesgos_amb_SL.htm
- Conacher, A. J., S. D. Neville y P. D. King. 2002. Evaluation of through flow interceptors for controlling secondary soil and water salinity in dryland agricultural areas of southwestern Australia: II. Hydrological study. *Applied Geography*, V3 (2): 115-132.
- Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas. 2005. Página oficial de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático: <http://unfccc.int/2860.php>.
- Convención de Ramsar. 2005. Lineamientos para el manejo de las aguas subterráneas a fin de mantener las características ecológicas de los humedales. 9ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). Kampala, Uganda.
- Coronel, A. y Sacchi O. 2006. Climatología de eventos secos y húmedos en el Sur Santafesino. *Revista Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Rosario*, V9(IX):1-8. www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion
- Cortés, A, R. Arizabalo y R. Rocha. 1989 Estudio hidrogeoquímico isotópico de manantiales de la Cuenca de México. *Geofísica. Internacional*. V28(2): 256-282.
- Cozzo, D. 1976. Tecnología de la Forestación en Argentina y América Latina. Buenos Aires, Ed. Hemisferio Sur. 610 p.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Tomo I y II. Ed Orientación Gráfica. Buenos Aires, 905 p.
- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, V133, Issue 3465: 1702-1703.
- Czajkowski, J.D. y Gómez, A. 2006. Atlas bioclimático de la Argentina. www.arquinstal.com.ar/climasargentina
- Czajkowski, J.D. y E. Rosenfeld. 1992. Regionalización Bioclimática de la Provincia de Buenos Aires. Actas 15 Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energía Solar, en San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. <http://jdczajko.tripod.com/publicaciones/asades92/regclim.htm>
- Dangavs, N. 2005. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capítulo XIII: 219-236.
- Danish Hydraulic Institute. 2000. Diagnóstico de Inundación en la Región. Noreste de la provincia de La Pampa. Informe Fase 1. Instituto Danés de Hidráulica, Argentina. Subsecretaría de Obras y Servicios Públicos. Gobierno de la provincia de La Pampa. 65p.

- Di Bella, C. M., C. M. Rebella y J. M. Paruelo. 2000. Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, V21(4): 791-797 <http://www.evapotranspiracion.org.ar/conceptos/calculo.htm#algo#algo>
- D'haeze, D., D. Raes, J. Deckers, T.A. Phong, H.V. Loi. 2005. Groundwater extraction for irrigation of *Coffea canephora* in Ea Tul watershed, Vietnam a risk evaluation. *Agricultural Water Management*, 73: 1–19.
- Degioanni, A., J. Cisneros y A. Cantero Gutierrez. 1999. Las Inundaciones en la provincia de Córdoba (Argentina) Breve descripción del problema y síntesis de la cartografía disponible. 9p. <http://www.seyd.unrc.edu.ar/seyd/descargas/CIR>
- Delgado, S., F. Alliaume, F. García Préchacy y J.Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*, VX(2):95 -107.
- Di Bella, C. M. Rebella y J. M. Paruelo. 2000. Evapotranspiration estimates using NOAA AVHRR imagery in the Pampa region of Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, Vol 21(4): 791-797.
- Díaz-Zorita, M. 2000. Manejando la nutrición mineral. *Revista Agromercado*. (Suplemento Girasol). www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura
- Díaz-Zorita, M.; G. Duarte; M. Fernández Canigia, 2000. La siembra directa y los sistemas mixtos de producción en el Oeste de Buenos Aires. www.inta.gov.ar/villegas/info/documentos/Publicaciones
- Dillon, A.A., M. Hurtado, J. Giménez y R.J. Castillo. 1985. Consideraciones Geomorfológicas y Estratigráficas como Base del Carteo de Suelos de un Sector de la Pampa Arenosa (Pcia. Buenos Aires). *Actas Primeras Jornadas Geológicas Bonaerense*, Tandil: 737-749.
- Dillon, A.A., M. Hurtado y J. Giménez. 1987. Influencia de la Geomorfología y Estratigrafía en los Anegamientos de la Pampa Arenosa, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. X Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán. *Actas III*: 301-304..
- Drever, James I. *The Geochemistry of Natural Waters*. Second Edition. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 437 pp, 1988. ISBN 0-13-351396-3.
- Durán, D. 2002. El problema de las inundaciones en la Cuenca del Salado o la cuestión de la alternancia de sequías e inundaciones en la Pampa Deprimida. www.ecoportal.net/content/view/full/20997
- Echeverría, J.C., Jobbagy, E.G. y Collado, A.D. 2006. Aptitud Forestal de la Provincia de San Luis. http://www.inta.gov.ar/sanluis/info/documentos/Aptitud_forestal. 110p.
- Edmunds, W.M., J.J. Carrillo-Rivera y A. Cardona. 2002. Geochemical evolution of Grounwater beneath Mexico City. *Jour. of Hydrogeology*, 258: 1-24,
- Engelen, G.B. y G.P. Jones. 1986. Developments in the analysis of groundwater flow systems. *IAHS publication N°163*: 67-106.
- Esparrach, C. 2000. Especies adecuadas para la implantación en bajos inundados <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forestales.htm>
- Esparrach, C. A. y M. A. Galetti. 2003. Acacia australiana. Una óptima especie alternativa para forestar en el sudeste bonaerense. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest>
- Esparrach, C.A.. 2000. Especies adecuadas para la implantación en bajos inundados. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/forestales.htm>
- Etcheverry, R. 2003. Introducción: 16-26. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). *Inundaciones en la región pampeana*. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Etchevehere, P.H. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. Publicación Nro 152. INTA Castelar. 222 p.
- Etchichurry, M.C., O.R. Tofalo y M.E. Forzinetti. 1988. Composición de la fracción psamítica de sedimentos actuales de la provincial de Buenos Aires y su significado tectónico. *Actas Seg. Tour Geológico Bonaerense*, Bahía Blanca.
- Fagundo, J.R. 1990. Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales. *Hidrogeología (Granada)*, 5: 33-46.
- Fagundo, J.R. 1996. Química del agua kárstica. *En*: Fagundo, J.R., J.J. Valdés y J.E. Rodríguez. *Hidroquímica del Karst*. Ed. Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental, 11-119, Granada Univ. Granada (España).

- Fagundo, J.R. 1998. Patrones hidrogeoquímicos y relaciones matemáticas en aguas naturales. *Ingeniería Hidráulica*, 19(2): 62-78.
- Fagundo Sierra, J., J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez. 2001. Modelación de las aguas naturales. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, Vol. VII. ISCTN, La Habana.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje N°24. 194p.
- FAO, Food Agricultural Organization. 1979. Soil survey investigations for irrigation. *Soil Bulletin* N°42.
- Fassola, A.K., N. Pachas, L. Colcombert, y S. Lacorte. 2005. El Sistema Silvopastoril y la Nueva Generación Empresarial. *Revista IDIA XX1*: P.240-244.
- Feijoo, C.; S. Doyle; L. Rigacci; F. Momo y P. Gantes. 2004. Caracterización físico-química y comunidades de macrófitas de arroyos de la provincia de Buenos Aires. III Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Tandil, Buenos Aires.
<http://www.exa.unicen.edu.ar/ecosistemas/Congreso2004/Documentos/resumenes.pdf>
- Fernández Long, M., I. E. Barnatán, I. Spescha, R. Hurtado y G. Murphy. 2004. Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años.
http://www.agro.uba.ar/comunicacion/divulga/caracterizacion_heladas.pdf
- Freeze, R.A. y J.A. Cherry. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall.600p.
- Fundación Cargill.1980. Ponencias en Jornadas de manejo agronómico para zonas inundadas en la provincia de Buenos Aires. http://www.produccion-animal.com.ar/inundacion/12-jornadas_manejo_zonas_inundadas.htm
- Gabellone, N; R. Sarandón y C. Claps. 2003. Caracterización y zonificación ecológica de la Cuenca del Río Salado. Capítulo 5: 123-136. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed).Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Galera, F.M. 2000. Los Algarrobos. Las especies del género *Prosopis* (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico. Ed. FAO, 276. p.
- Galetti, M.A. 2003a. Los excedentes hídricos en la provincia de Buenos Aires.
<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/excedentes.htm>
- Galetti, M.A. 2003b. Sistemas silvopastoriles en la provincia de Buenos Aires Equipo Forestal INTA, Balcarce. <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/silvopas.htm>
- Galetti, M.A. y C.A. Esparrach. 2003. La acacia blanca en forestaciones de uso múltiple.<http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/forest/acacia.htm>
- Garay, J.A. y J.H. Veneciano. 2005. La agricultura de cosecha de San Luis. Información técnica N° 3 INTA EEA San Luis.
- García, E. y Hernández, M. E. 1988. Anomalías de la Precipitación en la Republica Mexicana 1921-1980. *Revista de Geografía*, VII(3):1-3.
- García, O.M. 2003. Aportes para transitar el ciclo húmedo en el noroeste bonaerense. Capítulo 13:211-214. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed).Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Garrels, R. y T. Mackencie. 1967. Origin of the chemical composition of some springs and lakes. *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*. Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser., 67: 222-242.
- Gat, JR, Willem G. Mook and Harro A.J. Meijer. Atmospheric Water. Volume II. In: *Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and applications*. Edited by W.G. Mook, IHP Technical Documents in hydrology, No. 39, Vol. II, 113 pp, UNESCO, Paris, 2001. SC-2001/WS/37.
- George, R. J.1992. Estimating and modifying the effects of agricultural development on the groundwater balance of large wheatbelt catchments. *Applied Hydrogeology* 1/92: 41- 54.
- George, R. J., R. A. Nulsenb, R. Ferdowsianc y G.P. Raper.1999. Interactions between trees and groundwaters in recharge and discharge areas A survey of Western Australian sites. *Agricultural Water Management* V39 (2-3): 91-113.
- Giménez, J., A.A. Dillon y M. Hurtado. 1990. Consecuencias de los anegamientos en centros urbanos del oeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. I Simposio Latinoamericano sobre Risco Geológico Urbano, Sao Paulo, Brasil. Actas: 42-54.

- Girardin L. O. 2006. Vulnerabilidad y Adaptación en la Argentina Presentación en Latin American Regional Workshop on Adaptation, Perú. <http://unfccc.int/files/adaptation/>
- Glosario Botánica. 2007. <http://www.ugr.es/~fisiofar/glosario/glosario.htm>
- Glosario INE, Instituto Nacional de Ecología. 2007. Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas. <http://www.ine.gob.mx/dgioece/glosario.htm>
- Gómez, S. E. y R. C. Menni. 2004. Cambio ambiental y desplazamiento de la ictiofauna en el oeste de la pampasia. III Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Tandil, Buenos Aires. <http://www.exa.unicen.edu.ar/ecosistemas/Congreso2004/Documentos/resumenes.pdf>
- Gómez, S. E., P. S. Trenti y R. C. Menni. 2004. New fish populations as evidence of climate change in former dry areas of the pampa region (Southern South America). *Physis* (Buenos Aires), Secc.B, 59(136-137): 43-44.
- González, M A. 1993. Las encadenadas del oeste, las raíces del problema. *Agromercado* V 7(80): 8-14.
- González, N. 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap XXII: 359-374.
- González-Bernáldez, F. 1986. Agua y paisaje en Madrid: Posibilidades y Restricciones. Jornadas Internacionales sobre el Paisaje del agua, Madrid: 125-143.
- Guía de Lagunas y Pesqueros. 2007. Publicación periódica Ministerio de Asuntos Agrarios, provincia Buenos Aires. Edición 2007/2008.
- Gupta, S. K. 2007. Strategies for prevention and management of waterlogging and soil salinization and their limitations: 43-56. En: Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. *Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands*. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India. 231 p.
- Grosman, F. y F. Peluso. 1998. La pesca deportiva en lagunas de la pampasia. *Realidad Económica*, 133: 74-99.
- Haigh M. J., L. Jansky and J. Hellin. 2004. Headwater deforestation: a challenge for environmental management. Focus on the International Year of Freshwater. *Global Environmental Change Part A*, V14, Supplement 1: 51-61
- Humphreys, E. M. Edraki and M. Bethune. 2003. Deep Drainage and Crop Water use for Irrigated Annual Crops and Pastures in Australia – A Review of Determinations in Fields and Lysimeters. CSIRO Land and Water Technical Report 14/03. 37p. <http://knowledgebase.npsi.gov.au/?Ref=147>.
- Hunt, R.J., M. Strand, J.F. Walker. 2005. Measuring groundwater–surface water interaction and its effect on wetland stream benthic productivity, Trout Lake watershed, northern Wisconsin, USA. *Journal of Hydrology* XX:1-15.
- Hatton, T.J., G.A. Bartlea, R.P. Silbersteina, R.B. Salama, G. Hodgson, P.R. Ward, P. Lambert y D.R. Williamson. 2002. Predicting and controlling water logging and groundwater flow in sloping duplex soils in western Australia *Agricultural Water Management*, V53: 57-81.
- Hernández, M; N González; M Cabral; J Giménez y M Hurtado. 2003. Importancia de la caracterización física del riesgo hídrico en la llanura húmeda. Capítulo 9: 159-173. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). *Inundaciones en la región pampeana*. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Heuperman, A. 2003. Bio-drainage; a situation analysis. Institute of Sustainable Irrigated Agriculture (ISIA) at Tatura, Australia, for the International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID). www.wca-infonet.org/cds_upload/1058154421850_BIO_DRAINAGE.pdf.
- Heuperman, A.F., A.S. Kapoor and H.W. Denecke 2002. Biodrainage. Principles, experiences and applications. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage, Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. Knowledge Synthesis Report N°6. <http://www.iptrid.org>.
- Huizar Álvarez, R., J.J. Carrillo-Rivera, G. Ángeles, T. Herat y A. Cardona. 2004. Chemical response to groundwater extraction southeast of México City. *Hydrogeology Journal*, V12: 436-450
- Hunt R.J.; Strand, M y Walker, J.F. 2005. Measuring groundwater–surface water interaction and its effect on wetland stream benthic productivity, Trout Lake watershed, northern Wisconsin, USA. *Journal of Hydrology* XX:1–15.

- Hurtado, M., G. Moscatelli, y R. Godagnone. 2005. Los Suelos de la Provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capitulo XII: 201-218.
- Huss, D. 1993. Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación. Documentos FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/docrep/X5320S/X5320S00.HTM>
- Iacobucci, P.C. 2000. Informe Final Programa Provincial de Desarrollo Agropecuario de la Provincia de Buenos Aires. SAGyP de la Nación, Oficina Riesgo Agropecuario. 154 p.
- Insausti, P., E.J.Chaneton, y A.A. Grimoldi. 2005. Las inundaciones modifican la estructura y dinámica de la vegetación en los pastizales de la Pampa Deprimida. 253-266. *En* Oesterheld, M., M.R. Aguiar, C.M. Ghersa, y J.M. Paruelo (Ed). La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, un homenaje a Rolando J.C. León. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- INCYTH, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica. 1978. Regiones hidrogeológicas de la República Argentina. Mapa escala 1:2'500,000. Centro de Investigaciones Hidrogeológicas de Ezeiza, Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Secretaria Recursos Hídricos
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1977. Las condiciones de drenaje de la Pampa deprimida. Departamento Suelos, Publicación 154. 166p.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1992. Cartas de suelos, escala 1:50.000, partido de Pehuajó, Buenos Aires.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1987. Índices de productividad. Estudios para la implementación de la reforma impositiva agropecuaria. Proyecto PNUD, Argentina 85/019 Área Edafología. 60 p.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2000. Field Book for Describing and Sampling Soils. National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agricultura. Lincoln, Nebraska. En CD. Traducción al español por AICET, Área de Investigaciones en Cartografía y Evaluación de Tierras, Castelar, INTA.
- INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2003. Proyecto Pampa Húmeda. Proyecto de alternativas para transitar el ciclo húmedo Informe Centro Regional Buenos Aires Norte <http://www.inta.gov.ar/BN/ph/define.htm>
- Jobbágy, E.G., Vasallo, M, Farley, KA, Piñeiro, G, Garbulsky, M.F., y Nosetto, M.D., Jackson, R.B., y Paruelo, J.M. 2006. Forestación en pastizales: Hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia*, Vol X(2): 109-124.
- Kalin, R.M. and A. Long. Application of hidrogeochemical modeling for validation of hydrologic flow modeling in the Tucson Basin Aquifer, Arizona, United States of America. In: Mathematical models and their applications to isotope studies in groundwater hydrology. Proceedings of final Research Co-ordination Meeting held in Vienna, 1-4 june 1993, International Atomic Energy Agency IAEA-EDCDOC-777, IAEA, Vienna, 209-254, 1994. ISSN 1011-4289.
- Kamra, S.K. 2007. Vertical Drainage: Potential and Possibilities for Reclamation of Waterlogged Saline Soils. *En* Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India. 231 p.
- Khamzina, A., J. P.A. Lamers; B. Wickel, Y. Djumaniyazova; and C. Martius .2005. Evaluation of young and adult tree plantations for biodrainage management in the lower Amudarya River Region, Uzbekistan. ICID 21st European Regional Conference, Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland. 11p.
- Krüger, H.R. 1992. Manejo de suelos que sufrieron inundación temporaria. Boletín Divulgación N° 31. Pro-Suelos, INTA, EEA Bordenave. 28 p. http://produccionbovina.com/inundacion/27-manejo_suelos_inundados.htm
- Kruse, E. y P. Laurencena. 2005. Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capitulo XIX: 313-326.

- Kruse, E. y E. D. Zimmermann. 2002 Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina) In: XXXII IAH Congress, 2002, Mar del Plata. Workshop, Groundwater and Human Development: 2025 – 2038.
- Kruse, E.; J.L. Aiello y J.A. Forte Lay. 2002. Indicadores Hidrológicos para las Actividades Agrícolas. Seguimiento y Pronóstico Hidrológico en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Convenio Específico de Agro Meteorología. Comisión Nacional de Actividades Aeroespaciales y Federación de Centros y Entidades Gremiales de Acopiadores de Cereales. <http://www.conae.gov.ar>.
- Ladekarla, U.L., K.R. Rasmussen, S. Christensen, K.H. Jensen, B. Hansend. 2005. Groundwater recharge and evapotranspiration for two natural ecosystems covered with oak and heather. *Journal of Hydrology* 300:76–99.
- Lima, W.P.; y Zakia, M.J.B. 2006. As Florestas Plantadas e a Água. San Pablo; CNPQ, 218 p.
- Lite, S.J., J.C. Stromberg. 2005. Surface water and ground-water thresholds for maintaining *Populus-Salix* forests, San Pedro River, Arizona. *Biological Conservation* 125: 153–167.
- Lloyd, J.W. y Heathcote, J.A. 1985. Natural inorganic hydrogeochemistry in relation to groundwater, an introduction. Clarendon Press, Oxford, UK, pp130-137
- López, H.L., C. R. M. Baigún, J. M. Iwaszkiw, R. L. Delfino y O. H. Padin. 2001 La Cuenca del Salado: uso y posibilidades de sus recursos pesqueros. Edit. Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 89p. [http://mail.efn.uncor.edu/otros/bibliocentro/index_archivos/08-Salado%20\(1\).pdf](http://mail.efn.uncor.edu/otros/bibliocentro/index_archivos/08-Salado%20(1).pdf)
- López Lauenstein D., M. Melchiorre y A. Verga 2005. Respuestas de los algarrobos al estrés hídrico.
- Lozanoff, J. y E. Cap. 2006. El impacto del cambio climático sobre la agricultura Argentina: Un estudio económico. 25p. http://www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/Impacto_cambio_clim%C3%A1tico.pdf
- Luchini, L. 2004. Perspectivas en acuicultura, nivel mundial, regional y local. SAGPyA, Secretaría Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimento, Dirección de Acuicultura. http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/pesca/acuicultura/Perspectivas_en_Acuicultura.pdf.
- Lupi, A.M., Fernández, R., Pahr, N., Martiarena, R., Pezzutti, R., y Hernández, A. 2006. En el NE de Corrientes, pinos en tierras bajas. *Revista IDIA XXI*: 90-94.
- MAA, Ministerio de Asuntos Agrarios. 1987a. El agua y el suelo en el Noroeste Bonaerense. Informe Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 100p.
- MAA, Ministerio de Asuntos Agrarios. 1987b. Suelos inundados en el noroeste bonaerense, qué hacer. Boletín divulgación del Ministerio de Asuntos Agrarios, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- MAA-INTA, Ministerio de Asuntos Agrarios-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1986. Diagnóstico de situación y programa de recuperación de suelos del noroeste bonaerense. Tirada reducida. 73p.
- MAA, Ministerio de Asuntos Agrarios. 2007a. Relevamiento de Lagunas desde 1996 a 2007. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- MAA, Ministerio de Asuntos Agrarios. 2007b. Nuestra provincia, nuestro campo. El sector agropecuario de la provincia de Buenos Aires. 147p y CD.
- Machkova, M., K. Tzankov, D. Mandadjiev, B. Velikovand y D. Dimitrov. 1993. Solving an ecological problem related to the surface and groundwater quality in the Upperthacian Lowland, Bulgaria. *Hidrogeología*, 8: 1-11.
- Mackinnon, A., C. Chiesa y M. Llorente. 2004. Pautas para el desarrollo sustentable del área de Humedales del paisaje de Chascomús. III Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Tandil. www.exa.unicen.edu.ar/ecosistemas/Congreso2004/Documentos.
- Magrin, G. 2007. Variabilidad climática, cambio climático y sector agropecuario. INTA-Argentina Coordinadora del Capítulo de América Latina (IPCC) www.comunidadandina.org/development/cl_Magrin_Quito.pdf
- Maiola, O y R Cacivio. 2003. Planificación y gestión integral de los recursos hídricos: marco organizacional. Capítulo 7: 139-146. En O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Malagnino, E.C. 1988. Evolución del sistema fluvial de la provincia de Buenos Aires desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses, Bahía Blanca, Actas: 201-211.

- Malagnino, E.C. 1989. Paleoformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la Provincia de Buenos Aires. IV Simposio Latinoamericano de percepción remota y IX Reunión plenaria SELPER. Tomo II: 611-620.
- Martini, E. y H. E. J. Baigorri. 2004. Claves para la caracterización de un ambiente con influencia de napa freática. *En: Soja Actualización 2004. Información para la Extensión INTA Marcos Juárez*, 89: 41-46.
- Mastrarrigo, V. 1974. Informe sobre la Acuicultura en La Republica Argentina. *En La Acuicultura en América Latina. Actas del Simposio sobre Acuicultura en América Latina. FAO, Informes de Pesca, V3(159)*. <http://www.fao.org/docrep/005/AC868S/AC868S11.htm#ch11>
- Mateo, J. 1990. Apuntes del curso de postgrado Geoecología de los paisajes: teoría, métodos y vías de aplicación práctica. Universidad de La Habana, Cuba. 250 p.
- McDonald MG y A.W. Harbaugh, 1996. A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, TWRI 6-A1.
- Meconi, G. 2004. Flujo ascendente por cese de la explotación del acuífero Puelche en Quilmes, Argentina. Un impacto regional y su mitigación local. CD Memorias del Congreso XXXIII AIH y 7º ALHSUD. Zacatecas-México.
- MEP, Ministerio de Economía y Producción, República Argentina. 2004. Argentina Estrategia Rural. Informe final. Estudio fiscal-análisis comparativo de la tributación y el gasto publico agropecuario en la Nación y en cuatro casos provinciales: Buenos Aires. 31p. <http://www.rimisp.cl/getdoc.php?docid=2801>
- Miaczynski, 1961. La clasificación de las tierras por su capacidad de Uso. INTA. Traducción al español del memorando SCS-136 del Administrador del Servicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura de USA, 1958.
- Miranda, F. 2003. El mar de Epecuén. Recurso Termal. SEGEMAR, Buenos Aires:1(4): 14-20.
- Mitsch, W.J. y J.G. Gosselink. 2000. The values of wetlands: landscapes and institutional perspectives. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics* 35 (1): 25-33.
- Moncaut, CA. 2003. Inundaciones y sequías tienen raíces añejas en la pampa bonaerense (1576-2001). Capítulo 1: 27-48. *En O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.*
- MP-INTA, Municipalidad de Pehuajó y Agencia de Extensión INTA Pehuajó. 2005. Informe Socio-Económico del partido de Pehuajó. Tirada reducida.
- Municipio de Lincoln. 2007. www.noroestebonaerense.com.ar/PARTIDOLINCOLN/PartidoLincoln
- Monti, M.E. 2001. Áreas de Desarrollo Sostenible de la Cuenca La Picasa ADS's. Una propuesta de trabajo para un ordenamiento en el uso de los recursos naturales que permitan un desarrollo sostenible Delegación Rufino MAGIC (Gobierno Pcia Santa Fe)- Informe 23 p.
- Mook, W.G. 2001. Environmental isotopes in the hydrological cycle, principles and applications. V.1 Centre for isotope Research, Croningen UNESCO/IAEA series.
- Mugni, J. 1998. Comportamientos geohidrológicos de lentes de agua dulce en el Noroeste de la provincia de Buenos Aires. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 6 tomos (textos y mapas).
- Murray, C.D. and Buttle, J.M. 2005. Infiltration and soil water mixing on forested and harvested slopes during spring snowmelt, Turkey Lakes Watershed central Ontario. *Journal of Hydrology*, 306:1-20
- Naumann, M. y M. Madariaga. 2003. Atlas Argentino/Argentinienatlas. Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit. 94p.
- Nakama, V., A. Alfieri, J. Rodríguez Traversa, A. Aleksa, R. Moschini y H. Conti. 2000. Aptitud de las tierras para eucaliptos con fines de planeamiento regional en la provincia de Buenos Aires. SAGPyA Forestal N°16. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/revista16/>

- Neiff, J.J., Casco, S.L. y J.C. Arias. 2003. Glosario de Humedales Latinoamericanos. En: Neiff, J.J. (Ed.) Humedales de Iberoamérica.. La Habana CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecn. para el Desarrollo - Subprograma XVIII, 2004, V1. 376p.
- Norte, F., S. Simonelli y N Heredia. 1998. Impacto del fenómeno ENOS en el régimen hidrometeorológico de Mendoza, Argentina Programa Regional de Meteorología - IANIGLA - CONICET - Gobierno de Mendoza
www.unesco.org/phi/libros/enso/norte.pdf- <http://www.hisal.org/harvest/index.php/record/view/6655>
- Nosetto, M.D., Jobbágy, E. G., Tóth, T, y Di Bella, C.M. 2007. The effects of tree establishment on water and salt dynamics in naturally salt-affected grasslands. *Oecologia*. 152: 695-705.
- Núñez Muñoz, J. L. 2000. Aplicación de los modelos matemáticos de flujo y transporte de contaminantes para el diseño de sistemas de remediación. 10p.
<http://aguas.igme.es/igme/publica/pdflib15/034.pdf>
- Oesterheld, M., M.R. Aguiar, C.M. Ghera, y J.M. Paruelo. 2005. La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas, un homenaje a Rolando J.C. León. Ed.Facultad Agronomía, UBA.430p.
- Ortega, G.M.A. 1993. Origin and Migration of pore salinity in the consolidating aquitard near México City. Doctoral of Philosophy in Earth Science. Waterloo, Ontario, Canadá.
- Page, A., A. Miller, D.Keeney. 1982. Methods of Soils Analysis. Part 2. 2da. Edición Amer.Soc.Agron.Soil Sci.Soc.Amer, Madison, Wisconsin. USA. 1159 p.
- Paoli, C y R Giacosa. 2003a. Caracterización del riesgo hídrico con relación a las inundaciones y a las crecidas y lluvias de diseño. Capítulo 2: 49-63. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed).Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Paoli, C y R Giacosa. 2003b. Características hidrológicas de la llanura pampeana central oeste (área de derrames del Río Quinto y arroyos del sur de Córdoba). Capítulo 4: 73-86. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed).Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Parkhurst, D.L. 1995. Users guide to PHREEQC-a computer program for speciation, reaction-path, advective transport and inverse geochemical calculations. Water Resources Investigations Report 99-4529.
- Pesce, H. y F. Miranda. 2003. Catálogo de manifestaciones termales de la República de Argentina. Volumen I. Región Noroeste. SEGEMAR, Buenos Aires.
- Pergolini, S. 2004. Factores que explican las variaciones de rendimiento del cultivo de Soja entre los sectores de bajo y loma. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/pergolini/>
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española. 521 p.
- Pieterse, N.M., A.W.M. Verkroost, M. Wassen, H. Olde Venterink and C. Kwakernaak. 2002. A decision support system for restoration planning of stream valley ecosystems. *Landscape Ecology* 17 (Suppl. 1): 69-81.
- Pla Sentís, I. 2005. Física de Suelos e Hidrología en América Latina. En Documentos Técnicos en Hidrología N°71 de Programa Hidrológico Internacional, Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo, UNESCO. Compendio del VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos, Chile, 2003. Editores: Deyanira Lobo Luján, Donald Gabriels y Guido Soto.
- PMI, Plan Maestro Integral Cuenca del Río Salado. 1999. Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires-Halcrow-Banco Mundial. Volumen principal y 14 Anexos en CD.1300 p. Tirada reducida.
- Porowski, A. 2004. Isotopic evidence of the origin of mineralized water from the Central Carpathian Synclinorium SE Poland. *Environmental Geology*, 46(5): 661-669.
- Porta, J., M. López Acevedo, y C. Roquero. 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa. 807p.
- Prathapar, S. A., W. S. Meyer, J. C. Madde y E. Alociljá. 1998. SWAGMAN Options: A hierarchical multicriteria framework to identify profitable land uses that minimize water table rise and salinization. *Applied Mathematics and Computation*, V83 (2-3): 217-240.
- Price, M. 2003. Agua subterránea. Limusa, Noriega Editores, 330 p
- Prieto, M., y R. Herrera. 2002. Evidencias históricas sobre algunos aspectos de la variabilidad climática en Argentina y Bolivia durante los últimos cuatro siglos. www.cricyt.edu.ar/libro_ainigla/133

- Prinz, D. and B. Chahbani. 2006. New Approaches in Oasis Water Management – Experiences from North Africa. www.sured.de/New%20Approaches%20in%20Oasis%20Water%20Management.doc
- Protocolo de Kyoto. 1997. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- Punthakey, J.F., S.A. Prathapar, N.M. Somaratne, N.P. Merrick, S. Lawson y R.M. Williams. 1996. Assesing impacts of basin management and environmental change in the eastern Murray Basin. *Environmental Software*, V11(1-3):35-142.
- Quirós R. 1988. Evaluación del rendimiento pesquero potencial de la República Argentina. II Evaluación por regiones. Informe técnico del Departamento de Aguas Continentales, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. No8. 9p.
- Quirós R., J. J. Rosso, A. Rennella, A. Sosnovsky y M. Boveri. 2002. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina). *Interciencia* V27(11): 548-591.
- Radrizzani A. y R.F. Renolfi. 2004. La importancia de los árboles en la sustentabilidad de la ganadería del Chaco Semiárido- INTA - EEA Santiago del Estero. www.inta.gov.ar/santiago/info/documentos
- Rankama, K., y T.H.G. Sackema. 1962. *Geoquímica*. Ed. Aguilar, España. 861 pp.
- Ravelo, A; Rebella, C; Villanueva, C; Zanvettort, R; Rodríguez, R; Da Porta, W; Skansi, M. 2000. Plan piloto. Desarrollo de un sistema para la detección, seguimiento, evaluación de las sequías agrícolas en Argentina. 10p. <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Ppan/File/Plan%20Piloto.pdf>
- Rébori, M., F., Damiano, I.R. Díaz, Rodríguez Traversa, J. 2004. Requerimientos de agua del *Eucalyptus dunnii* en su implantación y monte adulto. Medición y contribución al balance hídrico regional. *Revista Investigación Forestal al Servicio de la Producción II*: 209-213. http://www.sagpya.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/bloque04_2.pdf
- Remes Lemicov, M., D. Colautti y G. Berasain. 2002. Lagunas de Cochicó, Del Monte, El Venado, Partido de Guaminí. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°38. 21p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- Remes Lemicov, M. y G. Berasain. 2004. Laguna de Gómez, Partido de Junín. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°60. 17p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia. Buenos Aires. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- Remes Lemicov, M. y D. Colautti, 2004. Las Tunas Grandes Partido de Trenque Lauquen. Campaña de relevamiento limnológico e ictiológico. Informe técnico N°63. 21p. Dirección de Desarrollo Pesquero, Subsecretaria de Actividades Pesqueras, MAA, Pcia Buenos Aires. <http://www.maa.gba.gov.ar/pesca/relevamientos.php>
- Rengasamy, .P., D. Chittleborough and K. Helyar. 2003. Root-zone constraints and plant-based solutions for dryland salinity *Plant and Soil*, 257: 249–260,
- Ryan, P. J., R. J. Harperb, M. Laffanc, T.H. Bootha y N.J. McKenzied. 2002. Site assessment for farm forestry in Australia and its relationship to scale, productivity and sustainability. *Forest Ecology and Management*, V171(1-2): 133-152.
- RIAP. 2007. Red de información Agro-económica para la región Pampeana, del INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <http://www.inta.gov.ar/pro/radar/riap/riap.htm>, <http://www.inta.gov.ar/pro/radar/info/meteor.htm>
- Richards, L. A. 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Ed. LIMUSA. México D.F. 172 pp.
- Richardson, S.B. and K.A. Narayan. 1995. The effectiveness of management options for dryland salinity control at Wanilla, South Australia. *Agricultural Water Management*, V29(1): 63-83.
- Rivas, J. 2001. *Girasol en el valle bonaerense del Río Colorado*. EEA INTA Hilario Ascasubi, publicación N° 12
- Roberto, Z.E., G. Casagrande y E. Viglizzo. 1994. Lluvias en la Pampa Central: tendencia y variaciones del siglo. *Cambio Climático y Agricultura Sustentable en la Región Pampeana*. Boletín INTA Centro Regional La Pampa-San Luis, N°2, 25 pp.
- Rolleri, E. 1975. *Provincias geológicas bonaerenses*. Relatorio geología de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires: 29-53.

- Rosa, R, Denegri, G. y Gonzalez, A. 2006. Plan de Desarrollo Integral de la Cuenca del Rio Salado: Impacto Ambiental, Economico y Territorial; Informe final. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Tirada reducida.
- Ruiz, G.; L. Solari y N. Gabellone. 2004. Estudio preliminar de las relaciones tróficas en el plancton de una laguna arreica de la provincia de Buenos Aires: experimentación "in situ". III Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos. Tandil, Buenos Aires.
<http://www.exa.unicen.edu.ar/ecosistemas/Congreso2004/Documentos/resumenes.pdf>
- Rushton, K.R. 2003. Groundwater hydrology, conceptual and computational models. Wiley and Sons. 416p
- SAGPyA Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentación. 2005. Suplemento de Precios. Revista Forestal N°35 y 36 (marzo y diciembre 2005, respectivamente).
<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/Revista35/precios35.pdf> -
[Revista36/precios36.pdf](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas/Revista36/precios36.pdf)
- SAGPyA Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca, y Alimentación. 2006. Suplementos de Precios. Revista Forestal N° 37 y 38 (marzo y junio 2006, respectivamente).
<http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/revistas>
- SAGPyA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. 2007. Acuicultura.
http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/pesca/index_acuicultura.php
- SAGyP-CFA, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca - Consejo Federal Agropecuario. 1995. El deterioro de las tierras en la República Argentina. Alerta Amarillo. 287p.
- SAGyP-INTA., Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1989. Mapa de suelos, Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. 525p.
- SAGyP-INTA, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina, escala 1:500.000 a 1: 1.000.000, Tomo I: 731p y Tomo II: 677p.
- Sallies, R.A. 2006. Clima e inundaciones en la Pampa Deprimida
<http://olavarria.coopenet.com.ar/sallies/Inundaciones.htm>
- Sánchez Acosta, M. y L. Vera. 2005. Situación foresto-industrial de Argentina al 2005 Ejemplo de una cadena forestal. INTA, Serie Técnica N°35: 23-44.
- Santelmann, M.V., D. White, K. Freemark, J.I. Nassauer, J.M. Eilers, K.B. Vaché, B.J. Danielson, R.C. Corry, M.E. Clark, S. Polasky, R.M. Cruse, J. Sifneos, H. Rustigian, C. Coiner, J. Wu and D. Debinski. 2004. Assessing alternative futures for agriculture in Iowa, U.S.A. Landscape Ecology, V19(4): 357- 374.
- Sands, P.J., W. Rawlins y M. Battaglia 1999. Use of a simple plantation productivity model to study the profitability of irrigated Eucalyptus globulus. Ecological Modelling V117(1): 125-141.
- Sanhueza, C.A. 2002. El cooperativismo agrícola formador del perfil económico-social de la Argentina de fines del siglo XIX y principios del XX. XIII Economic History Congreso, Buenos Aires. 28p
<http://eh.net/XIIICongress/cd/papers/57Sanhueza128.pdf>
- Sá Pereira E., M. González, A. Vallati. 2005. Ensayo de cultivares de soja de GM III y IV en fechas de siembra de octubre a noviembre en Coronel Suárez - pcia. Buenos Aires -campaña 2003/04. INTA Coronel Suárez; EEA Bordenave: Tecnología del cultivo: 545-548.
http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/sapereira/fecha.siembra_soja.pdf
- Sauer, T.J., S.D. Logsdon, J. Van Brahana, J.F. Murdoch. 2005. Variation in infiltration with landscape position: Implications for forest productivity and surface water quality. Forest Ecology and Management, 220:118–127.
- Secretaría de Minería de la Nación. 2007. Condiciones Geotécnicas y Suelos. Provincia de San Luis.
<http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios/IRN/snluis/i-63.asp>
- Scott, P. R. y R. A. Sudmeyer . 1993. Evapotranspiration from agricultural plant communities in the high rainfall zone of the southwest of Western Australia. Journal of Hydrology, V 146: 301-319
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2003. Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA). <http://www.ambiente.gov.ar/default.asp?idseccion=158>
- Shterev, K.D. 2004 The hydrogeothermal basin of Sofia graben (Bulgaria). Environmental Geology, 46, 651- 660.

- Sierra, E., S. Pérez, G. A. Casagrande, y G. T. Vergara. 2001. Efectos del ENSO sobre las precipitaciones del trimestre noviembre-enero (1921/1998) en el centro-este de la provincia de La Pampa (Argentina). *Revista de La Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires*, V1(2): 83-87.
- Silveira, J.M. y L. D. Güerci. Sistema para la prevención de inundaciones en la Provincia de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires Políticas Sociales UNTREF.
<http://www.inta.gov.ar/BN/ph/info/documentos/artic321.htm>
- Sharma, D.P. 2007. Crop tolerance to surface water stagnation, sodicity, salinity and high water table. 55-69. *En: Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.* 231 p.
- SMN, Secretaría de Minería de La Nación Argentina. 2007. Provincia de San Luis - Condiciones geotécnicas. <http://www.mineria.gov.ar/ambiente/estudios/irrn/snluis/ind-cgeo.asp>
- Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook N° 436. 869 p.
- Sophocleous, M. 2005. Groundwater recharge and sustainability in the High Plains aquifer in Kansas, USA. *Hydrogeology Journal*, 13:351-365.
- Sondhi, S.K. 2007. Subsurface drainage: A case study of southwest Punjab. *En: Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.* 116-127p.
- Spescha, L.; J. Forte Lay; O. Scarpati y R. Hurtado. 2004. Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la región pampeana *Rev. Facultad De Agronomía*, 24(2):161-167.
- Stape, J. 2002. Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in Northeastern Brazil, tesis doctoral, Colorado State University, 224 p.
- Steinhardt, U. and M. Volk. 2002. An investigation of water and matter balance on the meso-landscape scale: A hierarchical approach for landscape research *Landscape Ecology*, V17(1): 1-12.
- Stiff, H.A. 1951. The interpretation of chemical water analysis by means of pattern, *Jour. Petroleum Technology*, 3(10): 15-17.
- Suárez, R. 2006. Sistemas silvopastoriles en la pradera pampeana. *Revista Forestal, SAGPyA*, 37: 15-17. www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-/forestacion/revistas/revista37/resumen37.pdf
- Sun, G., G.S. McNultyb, J.P. Shephardc, D. M. Amatyad, H. Riekerke, N.B. Comerfordf, W. Skaggsd and L. Swift. 2001. Effects of timber management on the hydrology of wetland forests in the southern United States *Forest Ecology and Management*, V143(1-3): 227-236.
- Taboada, M.A., F. Damiano y R.S. Lavado. 2006. Inundaciones en la región pampeana. Consecuencias sobre los suelos. www.agro.uba.ar/carreras/agronomia/materias/taller_II/
- Tejawat, C.M. 2007. Reclamation of waterlogged saline soils through drainage in Chambal Command Area Rajasthan. *En: Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.* 127-142
- Thomas, A. and J. Tellam. 2006. Modelling of recharge and pollutant fluxes to urban groundwaters. *Science of The Total Environment*, V360(1-3): 158-179.
- Tomar, O.S. 2007. Bio-drainage: performance of various tree species as effective bio-drain material: 213-221. *En: Ambast, S.K., Gupta, S.K. and Singh, Gurbachan. Agricultural Land Drainage: Reclamation of Waterlogged Saline Lands. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.* 231 p.
- Tóth, J. 1962. A theory of groundwater motion in small drainage basins in central Alberta, Canadá. *Journal of Geophysical Research* V67, No 11, p 4375-44387.
- Tóth, J. 1995. Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal*, V3(4): 4-16.
- Tóth, J. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero, Instituto Tecnológico GeoMinero de España*, V111:49-26.
- UNLP, Universidad Nacional de La Plata. 2003. Inundaciones en la región pampeana. Editores O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández. Ed. Universidad Nacional La Plata, Argentina. 266 p.

- Uriarte Cantilla, A. 2006. Historia del clima de la tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 1º edición, 306 p. <http://homepage.mac.com/uriarte/historia.html>
- Usselman, P. 1997. Indicadores de los cambios del medio ambiente en el pasado: geomorfología, historia y prehistoria en los países andinos. La cuestión ambiental en América andina : actores, territorios, lógicas, políticas públicas, 49º Congreso Internacional de Americanistas, Grupo 07, Quito <http://www.antropologia.com.ar/congresos/contenido/49CAI/Usselman.htm>
- Van Noordwijk, M., J. G. Poulsen y P. J. Ericksen. 2004. Quantifying off-site effects of land use change: filters, flows and fallacies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 19–34.
- Ventimiglia, L.A.; H.J. Carla y S.M. Rillo. 2003. Inundaciones: un problema para todos. Capítulo 3: 65 - 72. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). Inundaciones en la región pampeana. Editorial Universidad Nacional La Plata, Argentina.
- Verga, A. 2000. Algarrobos como especies para forestación: una estrategia de mejoramiento. SAGPyA Revista Forestal N°16.
- Vertessy, R.A., F.G.R. Watson, y S.K. O'Sullivan, 2001. Factors determining relations between stand age and catchments water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management*, V143: 13-26.
- Vigliano, P.; y F. Grosman. 1996. Análisis comparativo entre las pesquerías recreacionales de Azul (prov Buenos Aires) y Bariloche (prov. de Río Negro), Argentina. *Medio Ambiente* 13(1):80-87.
- Vinograd, N.A. 2004. Formation of mineral and thermal waters of some artesian basins in Russia. *Environmental Geology*. 46, 675- 679.
- Ward, E.C. y M. Robinson. 1990. Principles of hydrology. Ed McGraw-Hill 384p.
- Whitea, M.D. and K.A. Greerb. 2006. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning*, 74: 125–138.
- Whitehead, D. y C.L. Beadle. 2004. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. *Forest Ecology and Management*, V193:113-140.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Traducción en español, P. Urbano Terron y C. Rojo Hernández. Ed.Mundi Prensa, España. 1045 p.
- Wikipedia. 2007. Enciclopedia libre. <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
- Yrigoyen, M.R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires: 139-168.
- Zamolinski, A.F. 2001. Experiencias en recuperación de suelos salinizados Área de Investigación, EEA Gral. Villegas, INTA, Publicación técnica N° 31:1-16. <http://www.produccionbovina.com/inundacion/62-salinizados.htm>
- Zanoniani, R.A. 2002. Mejoramiento de bajos. Emergencias: inundaciones y sequías <http://www.produccionbovina.com/inundacion/00-inundacion.htm>
- Zárate F. y R. Rosa. 2003. Construcción del cambio: el Plan Maestro del Río Salado para la gestión sustentable del recurso hídrico. Capítulo 6: 123-136. *En* O. Maiola, Gabellone, N. y M. Hernández (Ed). Inundaciones en la región pampeana. Ed.UNLP, Argentina.
- Zárate, M. y J. Rabanesse. 2005. Geomorfología la provincia de Buenos Aires. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Capítulo VIII: 119-138.
- Zhang, M.; S. Geng y S.L. Ustin. 1998. Quantifying the agricultural landscape and assessing spatio-temporal patterns of precipitation and groundwater use *Landscape Ecology* 13: 37–53.

INDICE ANEXOS	Página
ANEXO A -DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO, ZONA BONAERENSE NOROESTE	1 62
<ul style="list-style-type: none"> • ANEXO A-1 Geología – Mineralogía • ANEXO A-2 Vegetación • ANEXO A-3 Cambio climático y variabilidad del clima • ANEXO A-4 Ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos. • ANEXO A-5 Características socio-económicas del noroeste bonaerense • ANEXO A-6 Inundaciones en la región pampeana. • ANEXO A-7 Manejo de vegetación y suelo: influencia en el agua subterránea. 	
ANEXO B- CLIMA.	63 95
<ul style="list-style-type: none"> • ANEXO B-1 Provincia de Mendoza <ul style="list-style-type: none"> B-1.1 <i>Precipitaciones</i> B-1.2. El Niño y su incidencia a nivel mundial • ANEXO B-2 Provincia de San Luis <ul style="list-style-type: none"> B-2.1 Clima y aumento de precipitación en San Luis B-2.2 Precipitaciones • ANEXO B-3 Provincia de La Pampa <ul style="list-style-type: none"> B-3.1 Precipitaciones B-3.2 Evolución del clima de la provincia de la Pampa • ANEXO B-4 Provincia de Córdoba <ul style="list-style-type: none"> B-4.1 Río Quinto, recorrido e incidencia en el noroeste bonaerense B-4.2 Precipitaciones B-4.3 Las inundaciones en sur de Córdoba, intervención del hombre, y aportes de agua profundas B-4.4 Variación de la superficie freática y precipitaciones en región pampeana • ANEXO B-5 Provincia de Santa Fe <ul style="list-style-type: none"> B 5-1 Precipitaciones • ANEXO B-6 Provincia de Buenos Aires <ul style="list-style-type: none"> B-6.1 <i>General Villegas</i> B-6.2 Pehuajó B-6.3 Trenque Lauquen • ANEXO B-7 Argentina, el clima y sus cambios 	
ANEXO C, PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	96 97
ANEXO D, AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA	97 103

ANEXO A

En este anexo, se amplían algunos de los temas presentados en el punto 2.1. relativo a la **Descripción del medio físico, zona bonaerense noroeste**

⇒ ANEXO A-1 Geología – Mineralogía

En parte del anexo A, se amplía el tema tratado en punto 2.1.2.1 sobre referente geológico y estratigrafía regional, y 2.1.2.2 sobre Hidrogeología. Se destaca que esta información fue considerada en la definición de la calidad de agua (punto 4.4), y en la aplicación del Modelo MODFLOW para simular los flujos de agua subterránea (punto 4.5).

Formación Médano Invasor, también conocida como *Sedimentos Postpampeanos*, incluye a una serie de unidades geológicas de diferente extensión, origen y características, que se desarrollan a partir del Holoceno.

En el área estudiada, la unidad que presenta mayor continuidad de su extensión es el Médano Invasor (Tapia, 1937) o Formación Junín (De Salvo *et al.*, 1969), o Platense Eólico (Frenguelli, 1950) (autores en PMI, 1999; Auge, 2004; y González, 2005) formada por arenas finas y limos arenosos de tonalidad castaña y origen eólico; tiene escasa manifestación vertical, con el mayor espesor registrado hasta el presente en Salliqueló (20 m) (Auge *et al.*, 1988). Al Postpampeano también corresponden los limos-arcillosos del fondo de las depresiones (cubetas de deflación) especialmente de las lagunas permanentes. En varios sitios se reporta una capa de 0.01 m de ceniza volcánica presente a profundidad somera y datada a 1932.

Los sedimentos arenosos que forman los médanos cubren la mayor parte de la superficie del noroeste (55,000 de 75,000km²), por lo que también se lo denomina Pampa Arenosa disponiéndose como médanos longitudinales en el sector norte (38,000km²) y como médanos parabólicos (17,000km²) en el sector sur. El espesor disminuye de oeste a este entre 20 m (Salliqueló-Trenque Lauquen) y 5 m (Bragado-25 de Mayo). Hacia el este, también pierden continuidad, apareciendo los médanos en forma aislada. En Figura 2.25 del texto general, se indica la ubicación de las localidades y partidos que aquí se mencionan.

La unidad medanosa ejerce un notorio control en el comportamiento hidrológico, tanto superficial como subterráneo, de la región. En efecto, la disposición de los médanos longitudinales en el sector norte, con una orientación NNE-SSO, que resulta transversal a la pendiente topográfica regional (O-E). Versiones oficiales indican que esta disposición de los médanos producen un control al flujo del agua superficial y da lugar a la formación de extensos anegamientos, durante períodos de intensa precipitación, especialmente en las depresiones inter-medanosas.

En relación con el agua subterránea, la elevada conductividad hidráulica (saturada) de los médanos favorece la infiltración y por ende la recarga (Auge *et al.*, 1988), lo que deriva en lentes de agua de baja salinidad vinculadas a cuerpos medanosos (Mari Lauquen, Henderson, Moctezuma, 9 de Julio, Salliqueló, Coronel Granada, Pasteur, algunos de estos en Figura 2.25 del texto general). Estas lentes, constituyen la única fuente segura para la provisión de agua potable. González (2005) destaca que la recarga en la fase activa del sistema se da por encima de la Formación Paraná y es directa con la presencia del fenómeno de lo que denomina *recarga rechazada*, que estima se genera desde la década de los 1980's por el exceso hídrico, inicialmente en zonas bajas inter-medanosas. Igualmente, este último autor, indica que las zonas de recarga principal están a favor de la permeabilidad de los sedimentos arenosos lo que determina la presencia de lentes de agua dulce que sobre-yacen al agua regional salobre.

El agua subterránea vinculada con unidades medanosas, se comporta como libre o freática. González (2005) indica que el acuífero freático es el principal proveedor de agua de baja

salinidad, cubriendo aproximadamente el 72 % del área. En relación con las unidades acuíferas (confinadas) más profundas, reconocen una recarga alóctona (proveniente de otros sitios, flujos regionales) y suelen presentar surgencias (movimiento vertical del agua, desde niveles profundos hacia la superficie).

Formación Pampeano se extiende a través de toda la Cuenca del Salado, hacia el sur, donde la Formación Paraná y sedimentos más antiguos están ausentes, descansa directamente sobre rocas precámbricas, y en otros lugares, se depositó sobre las formaciones Puelche y Araucana (PMI, 1999). Subyace al Postpampeano en el sector occidental pero en el oriental, donde éste pierde continuidad, está cubierto directamente por el suelo. Con la denominación de *Sedimentos Pampeanos*, se agrupa a un conjunto de sedimentos constituidos por una fracción de limo más abundante que las fracciones de arena y arcilla distribuidos en la mayor parte del territorio de la Provincia de Buenos Aires y cuya edad abarca desde el Plioceno más temprano, Formación Arroyo Chasicó, hasta aquellos sedimentos que se han conocido bajo la denominación de Bonaerense (Fidalgo *et al.*, 1975 en PMI, 1999).

Se distinguen dos unidades dentro de los *Sedimentos Pampeanos*, en virtud de diferencia litológica. La más moderna (*Pampeano*), constituida por limos arenosos con CaCO₃ en forma de tosca y la más antigua (*Araucano*), formada por arenisca arcillosa y arcilla yesífera. Esta formación está constituida por limo arenoso fino, algo arcilloso, castaño rojizo, con concreciones calcáreas, también de origen eólico pero en forma de loess; corresponde al Pleistoceno y subyace al Postpampeano” (Auge *et al.*, 1988). Los metros iniciales en la base de la formación son arcillosos, mientras que la mayor parte de la misma consiste en limo arcilloso y limo (loess) con caliche (horizontes de suelos con carbonato de calcio), y un contenido importante del material depositado que se deriva de suelo en material volcánico.

El Pampeano presenta continuidad lateral en toda el área estudiada, con variación de espesor poco significativo. La Formación alcanza hasta 160m de profundidad y disminuye hacia el oeste. La mayor potencia se registra en General Pinto (155m) y Lincoln (165m). También se observan espesores importantes en Junín (130m) y Saladillo (110m). En el oeste (Villa Sauce) y el este de la región (Micheo), como así también en el centro (Moctezuma), donde el espesor disminuye a unos 80 m (PMI, 1999). Mungi (1998) indica los siguientes espesores: en Huetul 30m, Guanaco y Larramendy 90m, Magnano 110m, 9 de Julio 113m y Moctezuma 124 m.

Hidrogeológicamente, el Pampeano actúa como una unidad acuífera de media productividad debido a su granulometría y empaquetamiento; es menos permeable que el Postpampeano arenoso. La intercalación de algunos niveles arcillosos (acuitardos) de poco espesor, le otorgan un semi-confinamiento que se incrementa en profundidad. La salinidad, al igual que el Postpampeano, manifiesta una acentuada zonación lateral y vertical. La primera debida al flujo y la restante, por diferencia en la densidad del agua y por cambio litológico. Por ello, la sección superior es la que posee menor contenido salino. González (2005) describe al Pampeano como limo y loess que contiene agua, con limo arcilloso a arcillo limoso en su base que sirven de techo acuitardo a la siguiente unidad acuífera. En la mayor parte de la región se trata de la Formación Araucano, portadora de agua salobre y de escaso potencial como productora de agua.

Formaciones Araucano y Arenas Puelches, se constituyeron simultáneamente pero con característica sedimentológica y comportamiento hidrogeológico diferentes. Sobre la Formación del Paraná en el noreste se encuentran arenas de cuarzo de grano mediano a fino de la Formación Puelche, cuyo espesor varía entre 25 y 100 m. Su límite sur coincide con la denominada falla de Junín-Maipú, (Figura 2.25 en texto general) de dirección norte-oeste, la cual fue influenciada durante el depósito de sedimentos de formaciones anteriores a la Paraná. Al sudoeste de la línea de falla la Formación Arenas Puelches se convierte en la Formación

Araucana, que alcanza un espesor de 25 a 100 m. Es incierto si el contacto entre las dos unidades es un cambio superficial, o un contacto de falla (PMI, 1999).

El **Araucano** se ubica en el subsuelo de la mayor parte del área estudiada, al oeste de una línea que pasa entre los poblados de Junín, Lincoln, Bragado, 9 de Julio, 25 de Mayo, Huetel, Saladillo y Micheo. Formación Arenas Puelches, se emplaza al este de dicha línea, cuya orientación es sub-paralela al cauce del Río Salado, estas arenas penetran desde la región hidrogeológica del Noreste con agua en general de baja salinidad (González, 2005). El Araucano está integrado por areniscas arcillosas, castaño claras, con cemento calcáreo y abundante yeso, con intercalaciones de arcilla de tonalidad rojiza, son de origen lagunar y pertenecen al Plioceno (Auge *et al.*, 1988). Se ubica entre las formaciones Pampeano y Paraná, conformando, tanto su piso como su techo, sendas superficies de discordancia erosiva.

Hidrogeológicamente, se comporta como acuífero de baja productividad y en partes como acuitardo, debido a su granulometría predominantemente fina. El **rendimiento específico*** es bajo, de 0.3 litros por segundo por metro de abatimiento (l/s·m). El incremento salino en profundidad, su constitución arcillosa y la presencia de abundante yeso, hacen que el agua contenida en esta unidad tenga elevada salinidad (>5,000mg/l) y sea del tipo sulfatada. El espesor del Araucano aumenta hacia el suroeste, desde la línea donde engrana con las Arenas Puelches, en Timote, General Villegas y Villa Sauce registra 90m, en Moctezuma y Maza 100m, y en Rivera 140m. Mugni (1998) indica los siguientes espesores para esta formación en las perforaciones profundas efectuadas en la región: Huetul 32m, Guanaco 40m, Larramendy 47m, Magnano 51m, 9 de julio 27m y Moctezuma 49m

*El **rendimiento específico** de un acuífero es la relación entre la cantidad de agua que puede drenar libremente el material y el volumen total de la formación, resultando siempre menor que la porosidad total, y asociado al concepto de porosidad eficaz. La relación entre el rendimiento específico (Sy) y la porosidad total (P) depende del tamaño de las partículas en la formación. Un acuífero de textura fina tendrá un rendimiento específico pequeño, mientras que un acuífero de textura gruesa tendrá uno mayor, ya que es capaz de producir una mayor cantidad de su agua almacenada

Arenas Puelches, están representadas por arena cuarzosa franca, suelta, mediana a fina de color amarillento y blanquecino, con algo mica, tornándose arcillosa hacia la Cuenca del Salado y la Bahía Samborombón en el océano Atlántico. Lateralmente, se inter-digita con sedimentos limo-arenosos conocidos como Araucano (Auge *et al.*, 1983). Aunque no existe consenso, la mayoría de los investigadores les asignan una edad del Plio-Pleistoceno y un origen fluvial. Su techo limita con la Formación Pampeano y su base con la Formación Paraná mediante superficies de discordancia erosiva.

Hidrogeológicamente, estas arenas son una unidad francamente acuífera, que por su extensión, fácil acceso mediante una perforación, caudal que aporta en los pozos y por la calidad química del agua, hace que sea más extraída para consumo humano. En el área estudiada donde se emplazan las Arenas Puelches, la salinidad del agua subterránea contenida en ellas es bastante más elevada que al norte del Río Salado. Es frecuente encontrar valores superiores a 2,000 mg/l, y aún a 10,000 mg/l, mientras que al norte del Río Salado, la salinidad en general es menor a 2,000 mg/l y frecuentemente a 1,000 mg/l (Auge *et al.*, 1983).

Las Arenas Puelches que, como sucede con las unidades descritas previamente no han sido afectadas por dislocaciones tectónicas apreciables, observan un aumento de espesor hacia el Río Salado, con extremos de 0 m (entre Junín y Gral. Pinto), 60 m (25 de Mayo) y 55 m (Saladillo).

Formación Paraná. Las arcillas de la esta Formación (El Verde) están presentes en toda la región excepto en la parte inter-serrana comprendida entre Laprida y las sierras de la Ventana y Tandil y a lo largo del faldeo de las sierras (Figura 2.10 de texto) En esta última área se encuentran sedimentos más recientes que descansan directamente sobre el basamento rocoso (PMI, 1999). Estos sedimentos también conocidos como Paraniaco, El Verde o Mioceno Verde, constituyen una sucesión de arcillas, arenas arcillosas y arenas verdes y verde-azuladas, con calcáreo y fósiles marinos. Asimismo se destaca la abundancia de yeso hacia el oeste, anhidrita y material cinerítico. Las arcillas, que generalmente conforman el techo, cubren a capas arenosas cuya potencia se incrementa hacia el eje de la Cuenca del Salado (Hernández *et al.*, 1975). Sedimentos de esta formación se intercalan, en relación de discordancia erosiva, entre la Formación Puelches o el Araucano y la Formación Olivos que la subyace. La Formación Paraná es de origen marino y pertenece al Mioceno, se emplaza en el subsuelo de la mayor parte del territorio bonaerense, sólo falta en las sierras de Tandil y de Ventana y en la región inter-serrana comprendida entre ambas.

Hidrogeológicamente, la sección arcillosa superior se comporta como acuicludo y la inferior arenosa como acuífera, con muy bajo rendimiento específico, siendo el mayor de 0.3 l/s-m. La salinidad más frecuente del agua contenida en esta formación oscila entre 10,000 y 30,000 mg/l, con máximos que superan 100,000 mg/l (Hernández *et al.*, 1975) por lo que el agua no resulta apta para consumo humano.

En Huetel su espesor se reduce a 10 m debido a la presencia inmediata del Basamento Paleozoico. En el resto del área estudiada, registra potencia variable entre 100 m (Larramendy) y 40 m (Pehuajó). Hacia el Río Salado, el espesor se incrementa notoriamente.

Mugni (1998) da otros espesores: en Huetel 60m de espesor, en Larramendy 368m de litología arcillosa y niveles arenosos de 2 a 4m de espesor intercalado. En el Guanaco 335m, principalmente arcilloso, y en Magnano, 84 m de espesor con una sección inferior de 22m y una superior de 62m. En 9 de julio 71m, netamente arcillosa. En Moctezuma (cota 87) entre 181 y 186m de espesor.

Formación Olivos también denominada Mioceno Rojo o El Rojo, está formada por arenisca y arcilla rojas y pardas, con geodas de calcedonia, yeso y anhidrita, e intercalaciones de cenizas volcánicas que cubre en discordancia erosiva y traslapa a la sección inferior, para disponerse directamente sobre el basamento cristalino en la zona del Delta, Capital Federal, Hudson y La Plata.

De la descripción previa se desprende la extensión que posee esta unidad en la Provincia, pues desde su límite occidental llega hasta el Río de la Plata. Al igual que la Formación Paraná, la Olivos ocupa una buena parte del subsuelo de la gran Llanura Chaco-pampeana.

A la Formación Olivos se le asigna una edad Miocena Inferior y un origen continental (fluvial y lacustre), aunque hacia el este (plataforma continental) dominan facies marinas. En la mayor parte del área estudiada, se intercala entre las formaciones Paraná y Las Chilcas, mediante contactos discordantes. La mayoría de las perforaciones que atraviesan el Mioceno Rojo, se ubican en el centro y oeste del área.

En la localidad de Huetel (cota 70m) tiene 80m de espesor y en Guanaco (cota 85 m) suprayace al basamento con un espesor de 169m. En Larramendy (cota 85) se distinguen dos secciones, la inferior de 370m de arenisca compacta, pardo rojizas, y la superior de 147m de arcillas rojas. En la Estación Magnano (cota 92) es de 640m de espesor distinguiéndose también dos secciones, inferior arenosa de 137m de espesor, y otra superior arcillosa altamente

yesífera de 251m de espesor. En la localidad de 9 de julio (cota 76) tiene espesores de 216 y 222m (Mugni, 1998).

Hidrogeológicamente, se comporta como acuífero en su sección inferior, predominantemente arenosa, y como acuicludo* en la superior arcillosa. Los rendimientos específicos de los tramos acuíferos comúnmente son inferiores a 0.3 l/s por m, pero llegan a un máximo de 4 l/s·m en Puente Pueyrredón (Capital Federal). En cuanto a la calidad química, la variación salina es irregular tanto horizontal como verticalmente, con valores que van de 6,000 a 60,000 mg/l.

**Acuicludo* (del latín *cludo*, encerrar). Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella. Por ejemplo, limos, arcillas. Así un m³ de arcilla contiene más agua que igual volumen de arena, pero el agua está atrapada, no sale por gravedad en condiciones naturales ni hacia un pozo que esté bombeando

Formación Las Chilcas, está constituida por limolita de color gris verdoso, rojizo y castaño claro, incluye granos de cuarzo dispersos; en general es blanda a poco consolidada; se intercala con arcilla roja y gris oscuro con escasa glauconita (Yrigoyen, 1975 en PMI, 1999). Es la unidad más antigua de origen marino reconocida hasta el presente, en las cuencas sedimentarias del Salado y del Colorado (Terciario inferior-Paleoceno). Traslapa a depósitos del Cretácico hacia los bordes de las cuencas y es cubierta de la misma forma por la Formación Olivos.

Sólo tres perforaciones atraviesan a esta unidad, registrando los siguientes espesores: Villa Sauce, 150m; Guanaco 160m y Larramendy, 290m. Se indica la presencia de fracturas que afectan tanto al piso como al techo de la Formación Las Chilcas. Esta característica es típica del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires, donde elementos tectónicos se van disipando gradualmente hacia las unidades más modernas hasta hacerse imperceptible a partir del Terciario Superior.

Es poco lo que se conoce sobre el comportamiento hidrogeológico de la Formación Las Chilcas, pero de acuerdo con sus características litológicas, puede preverse que se comporta como un acuicludo, con agua de elevada salinidad.

Formación Abramo, sedimentos que se consideran correlacionables con esta formación fueron atravesados por las perforaciones Guanaco y Larramendy, con 130 y 345m de espesor, respectivamente en ambos casos, yace directamente sobre basamento de composición granítica. Esta formación posee origen continental y está constituida en su sección inferior por limolitas arenosas de grano fino, rojo parduscas.

En la sección superior dominan la arenisca arcillosa que forman hasta conglomerados pardo rojiza, clara, calcárea y yesífera (Auge, *et al.*, 1988), esta sección es acuífera debido al dominio de la arenisca pero con rendimiento bajo (0.03 l/s·m). La sección inferior actúa como acuitardo (limolita arenosa). La parte productiva presenta un nivel piezométrico 10 a 20m más profundo que el de las unidades superpuestas; la salinidad del agua supera los 50,000mg/l.

Basamento Hidrogeológico, esta unidad incluye rocas del Paleozoico y Precámbrico, litológicamente comprenden **cuarcitas, granitos, calizas y gneiss**, que se comportan hidráulicamente como rocas acuífugas que sólo pueden transmitir agua a través de superficies de debilidad estructural (equistosidad, fractura, diaclasa) de discontinuidad estratigráfica (discordancia, estratificación, contacto) y oquedades debidas a disolución. El granito, probablemente precámbrico, fue encontrado en la localidad de Guanaco a 644m y en Larramendy a 1,022m de profundidad, las cuarcitas paleozoicas de Huetel a 214 m y las calizas en la localidad de Villa Sauce a 497 m de profundidad.

Debido a su antigüedad, es la unidad más afectada por los procesos tectónicos, especialmente por fallas. Su rasgo más destacable es que constituye la base impermeable del sistema hidrológico subterráneo.

Secciones hidrogeológicas: comportamiento hidrodinámico e hidrogeoquímico

Las unidades descritas precedentemente, se presentan en Hernández *et al.* (1975) y en Mugni (1998) integradas en secciones, según criterio de Sala *et al.* (1974), a fin de caracterizar el comportamiento hidrodinámico e hidrogeoquímico de los sedimentos que sobreyacen al basamento cristalino.

Se describen las **Secciones Hipoparaniana, Paraniana, y Epiparaniana.**

El sitio del presente estudio, se corresponde con los **Ambientes Geohidrológicos Norte y Macachín** (Figura 2.14 de texto general).

Ambiente Norte

- **Sección Hipoparaniana**, comprende dos subsecciones, la inferior presente en sectores profundos de la Cuenca del Salado, siendo incierta su presencia en el área de estudio del noroeste bonaerense. Esta integrada por las Formaciones Río Salado, General Belgrado (edad cretácica ambas), y Las Chilcas (terciario inferior). La subsección superior, se corresponde con los depósitos continentales de la Fm Olivos, y se reconocen a su vez, dos sectores: el basal arenosos, acuífero, y el cuspidal, arcillosos, acuitardo-acuícludo.

Para esta sección Hernández *et al.* (1975 en Mugni, 1998), indica que el movimiento del agua subterránea es de oeste a este, siendo su descarga en el sistema fluvial Paraná- Río de la Plata, y la recarga de tipo alóctona indirecta se origina en los sectores periféricos de las Sierras Pampeanas y de Tandil. A nivel local, también se considera la posibilidad de una recarga autóctona indirecta por filtración vertical, descartándose el carácter connato de las aguas en función de la variación en las cargas piezométricas que van de +144 m en el noroeste a valores de 0 m en el estuario del Río de La Plata. Hidroquímicamente esta agua es de *clorurada a clorurada-sulfatada*, con salinidades que varían entre 6 y 60 g/l.

Los *rendimientos específicos* registrados en general son inferiores a 1 m³/hm, habiéndose calculado hasta 15.7 m³/hm en Puente Pueyrredón en Ciudad de Buenos Aires (Capital Federal), para una capa surgente de 7 m de arena fina a mediana. Las *transmisividades regionales* estimadas son inferiores en general a 1000 m²/día, con extremos de 100 m²/día en Capital Federal, y 5000 m²/día en Gallinao, Pehuajó, en la región del presente estudio del noroeste bonaerense (Hernández *et al.*, 1975).

- **Sección Paraniana**, se corresponde con los depósitos marinos de la **Fm Paraná**. Se distinguen dos subsecciones, basal arenosa, acuífero, y otra cuspidal arcillosa, acuícludo.

Según Hernández *et al.* (1975), al igual que la sección anterior, el sentido de la *escorrentía regional* es predominantemente oeste-este, con descarga en el sistema fluvial Paraná-Río de la Plata, y Litoral Atlántico. Comparando los niveles piezométricos con los de la sección suprayacente, puede advertirse una tendencia general a cargas negativas de esta sección Paraniana en zonas de recarga, y conducción y positivas en las de descarga.

Los gradientes estimados van de 0.0002 a 0.0005, y en base a asignaciones cualitativas de permeabilidad, se atribuyen a los miembros productivos de esta sección, una *transmisividad regional* oscila entre 100 y 500 m²/día, llegando a excederse los 1000 m²/día en áreas de descarga. El origen y dinámica del agua son atribuidas a procesos similares a los mencionados para la sección Hipoparaniana en relación a la recarga-descarga.

Los *rendimientos específicos* oscilan en una amplia gama, entre máximos de 11m³/ hm, con 10m de arena mediana, hasta mínimos de 0.02 m³/ hm, con 2 m de arena micácea media. El volumen de agua en condiciones de confinamiento, puede estimarse en 49,770 Hm³ para un área de 178,800 km².

Hidroquímicamente el agua es fuertemente *clorurada a cloro-sulfatadas*, con salinidad que varía entre 10 y 30 g/l en general. Sin embargo, es muy variable, pudiendo encontrarse extremos mayores de 100g/l y mínimos de 2.5-3g/l en alrededores de Capital Federal.

- **Sección Epiparaneana**, integran esta sección los sedimentos de las Formaciones Araucana, Pampeana, y Postpampeana.

Como se indicó la Fm Araucana, es altamente salina, debido a su comportamiento acucludo-acuitardo. El Pampeano con niveles acuitardos y otros acuíferos, mientras que el Postpameano, a través de la Fm Junín, tiene un comportamiento netamente acuíferos, constituyéndose por su posición en los ámbitos preferenciales de **recarga** del agua subterránea.

Los sedimentos Pampeano y Postpampeano, que alojan el principal acuífero del área, la capa freática, está sujeta a **recarga de tipo autóctona** directa por infiltración de lluvias (Mugni, 1998). La **descarga** subterránea regional, se orienta según un eje Trenque Lauquen-9 de Julio hacia el sistema Salado-Vallimanca, con un gradiente promedio de 0.25m/km, con extremos entre 0.095 y 0.25 m/km.

Ensayos realizados por Mugni (1998) en el conjunto Pampeano-Postpampeano, para las localidades de Mari Lauquen (Trenque Lauquen), y en 9 de Julio, permiten establecer los siguientes coeficientes del acuífero

	9 de Julio	Mari Lauquen
T m ² /d	300	400
S	0.08	0.10
K m/d	10	15

Respecto a la velocidad de la escorrentía subterráneo, desde los ámbitos de recarga hacia los de descarga, se aprecia que hay una escasa variación, variando los contenidos salinos desde 500 a 8000ppm.

Mineralogía del Postpampeano

En el sector correspondiente al sedimento Postpampeano, Mugni (1998) efectúa un estudio mecánico y mineralógico del mismo en superficie (0-3 m), y en profundidad (9-12), en sitios distribuidos de Mari Lauquen (Trenque Lauquen) En los sitios estudiados, el Pampeano se inicia a partir de los 14m de profundidad, y lo subyace el Pospampeano de 10 a 14m de espesor.

Si se comparan la mineralogía de las *muestras superficiales respecto a las profundas*, se aprecia que las primeras poseen tenores más bajos de cuarzo (la sumatoria de feldespatos alcalinos y calcosódicos, plagioclasas, supera al cuarzo monocristalino); una mineralogía completa de la fracción pesada, y un elevado porcentaje de alteritas; mientras que en las muestras profundas, hay mayor cantidad de cuarzo (las plagioclasas frescas predominan sobre los feldespatos potásicos alterados), la fracción pesada no se pudo cuantificar ya que aún no han sido liberados de los cristales que los alojan, la cantidad de alteritas son menores, y presentan un reducido contenido de vidrio volcánico. En general para ambas profundidades, puede indicarse que predominan los componentes volcánicos (pasta, vidrio y alteritas) sobre los minerales estables primarios (cuarzos y feldespatos). Los contenidos de flúor y arsénico, se vinculan a esta composición mineralógica, componentes volcánicos, y a los flujos regionales, encontrándose mayores concentraciones en ámbitos de descarga.

Los resultados indican que las *arenas estudiadas derivan de vulcanitas*, dado el elevado contenido de pasta volcánica, así como de plagioclasas de origen ígneo, y dentro de este, volcánico, y predominio dentro de los minerales pesados de la fracción augita. Asimismo, el muy escaso contenido de micas, turmalina, y silicatos de aluminio, indicarían el escaso aporte del metamorfismo en la zona de aporte (Mugni, 1998). Este autor indica, que las arenas provendrían de más de un ciclo de sedimentación o serían de diferentes procedencias, lo cual se manifiesta en las diferencias notables en el grado de redondamiento de algunos de los componente, tal como el cuarzo. En relación a su origen, este autor indica que las muestras analizadas derivarían de arcos magmáticos de tipo transicional (cordillera andina), que es coincidente con la mineralogía hallada en el sitio, y lo señalado por otros autores.

A partir de la mineralogía encontrada. Mugni (1998) indica que mecánicamente, los sedimentos son arenas finas a medianas carentes de material carbonáticos, estimándose una permeabilidad del orden de 7 a 15m/d, y una porosidad efectiva de alrededor del 10 %. Asimismo, a partir de *estudios de bombeo, evolución de la superficie freática, y otros* en el sitio, este autor indica que la superficie freática es reflejo de la topografía pero con gradientes más atenuados (0.49 y 0.78m/km respectivamente). Esto asociado a la permeabilidad de 10 m/día, y porosidad efectiva del 10%, da como resultado una velocidad de la escorrentía subterránea de 0.05m/día.

Los *coeficientes* hallados para el sitio son los siguientes: Transmisividad (T) 400 m²/ día, Almacenamiento (S) 0.10, y Permeabilidad (K) 15 m/día. El gradiente hidráulico promedio para Mari Lauquen es de 0.37 m/km, lo que resulta en una magnitud de afluencia subterránea de 1920 m³/d. El valor de infiltración promedio es de 145 mm/año resulta en una recarga anual de 1.4 hm³ (4000m³/d). A su vez considerando esta magnitud en relación a la afluencia subterránea, se obtiene una diferencia de 2100 m³/d. Este último valor guarda relación, con las variaciones en la freática. Así, la *superficie freática* para el período 92/95 varía en los sectores elevados en 1m, mientras que en sectores deprimidos 0,10m. Para el primer caso, se observa entonces una similitud entre el volumen que la variación freática genera (1m para un sector de 10km²) de 2740m³/d, y el volumen resultante de la diferencia entre infiltración y afluencia subterránea (2100m³/d). En los sectores bajos, se considera que dicha variación está fundamentalmente regida por la energía del sistema hídrico subterráneo regional, que se refleja en variaciones del nivel hidráulico menores.

Los procedimientos utilizados para estimar los valores presentados en el cuadro precedente sobre T, S y K en 9 de Julio, son iguales a los efectuados en Mari Lauquen.

Ambiente Macachín

- **Sección Basamento hidrogeológico**, en Gral San Martín, La Pampa, se identificó cuarcita a 291m, y en Abramo, granito entre 266 y 955m según el sitio.

- **Sección Hipoparaniana**, en la subsección inferior constituida por *areniscas arcillosas* compactas pardo-rojizas y violáceas, con intercalaciones conglomerádicas y **yesíferas**, localizadas a 262m de profundidad en la localidad de Maza, y en la subsección superior, asimilable al sedimento "El Rojo", esta constituida por areniscas arcillosas gruesas, conglomerádicas, yesíferas, pardo-rojiza claro, tiene un espesor de 90 m y su techo se alcanza a 168 m de profundidad. Se asimila a las formaciones Abramo, y Macachín. Se presume que recibe agua desde la zona central, ocurriendo la descarga fuera del ámbito considerado. Para la perforación Uriburu, se ha estimado una *transmisividad* de 150m²/día. La *salinidad* tiende a aumentar en profundidad siendo superior a 90g/l, y fuertemente clorurada.

- **Sección Paraniense**, *areniscas arcillosas* y *arcillas* pardo-rojizas a pardo verdosas, *yesíferas*, y con intercalaciones *calcáreas*, alcanza 120m de espesor en la localidad de Maza, y 119m en Rivera (ambas localidades próximas a las Lagunas encadenadas del Oeste), si bien puede tener hasta 400m de espesor hacia el centro de la cuenca.

La transmisividad regional es baja, inferior a 100m²/día. El volumen de agua almacenada es de aproximadamente 1840.5Hm³. El agua es clorurada, con salinidad de hasta 15g/l.

- **Sección Epiparaneana**, limos arenosos, arenas e intercalaciones arcillosas, con niveles calcáreos y yesíferos, que permiten el tránsito vertical del agua con salinidad creciente en profundidad.

⇒ ANEXO A-2 Vegetación

En esta parte del anexo A, se amplían temas relativos al punto 2.1.4. Vegetación.

Se incluyen las siguientes partes: A- 2.1. Conceptos básicos sobre la vegetación; A-2.2. Censos florísticos en sitios del noroeste bonaerense.

A-2.1 Conceptos básicos sobre la vegetación

A continuación se indican algunos *conceptos básicos relativos a la vegetación*, que permiten analizar la fisonomía de la vegetación y sus implicancias en el contexto de la presente tesis.

Cada especie posee requerimientos mínimo y tolerancia máxima de un gran número de factores ambientales. Así, cada especie tiene lo que se denomina, "*segmentos*" de las variables temperatura y contenido hídrico edáfico dentro de los cuales se puede observar esa especie. Si se consideran otros factores ambientales, se genera un mayor número de segmentos, uno para cada factor, que en combinación determinan un *hiper-espacio*, que no es otra cosa que el **nicho ecológico** de la especie.

A la inversa, una comunidad vegetal puede ser considerada como **indicadora de un ambiente determinado**. Si se conocen los requerimientos y tolerancias de una especie para algunos factores ambientales, la presencia de esa especie en la vegetación puede ser utilizada para inferir características del ambiente. Si se consideran varias especies que integran una comunidad vegetal entera, se tendrá mayor precisión, y ésta refleja la intersección de todos los nichos ecológicos de las especies que la componen, lo cual es un "**espacio**" mucho más reducido que el que indica cualquiera de los nichos por separado o la suma de todos ellos.

Sin embargo, la vegetación a lo largo del tiempo presenta **cambios** tanto en su composición florística como en la importancia relativa de sus especies (abundancia, cobertura, frecuencia, etc). Estos cambios pueden ser **fenológicos**, que determinan el aspecto estacional de la fisonomía de la vegetación (emergencia de hojas, floración, fructificación o muerte de la planta en la estación desfavorable), pero no resulta en cambio en la población que integra la comunidad. Asimismo, puede darse cambio por **variación ambiental, climática**, en el plazo de un año a otro, o mayores, causando variaciones en la producción de semilla, establecimiento y supervivencia de plántulas, tamaño de raíces, etc., y modificarse entonces la población que integra dicha comunidad.

Autores en Boccanelli y Lewis (2006), indican que el cambio pueden ser cíclico cuando hay una secuencia recurrente de poblaciones específicas en un sitio determinado, pudiéndose distinguir diferentes fases, cada una marcada por la dominancia de una o varias especies (Burrows, 1990) o *cambios unidireccionales* que culminan en una comunidad estable y en equilibrio con el clima (Clements, 1916, 1932). Las etapas de estos cambios unidireccionales se denominan **etapas serales**, y en conjunto constituye lo que se denomina **sucesión vegetal**. La etapa final estable a la que tienden es la **clímax** (Boccanelli y Lewis, 2006)

Entonces, se define **clímax** como la etapa final de equilibrio en la sucesión, que puede ser *climática y/o edáfica*, siendo la primera la que se ubica en suelo que sólo recibe el agua de lluvia, mientras que las edáficas, se desarrollan en suelos con exceso o defecto de agua (Glosario de Botánica, 2007). En Glosario INE (2007) respecto a clímax, se indica que esta

etapa final de equilibrio en la sucesión representa territorialmente la etapa de máximo biológico estable, y puede utilizarse también como una expresión del ecosistema maduro o asociación estable.

En relación con **sucesión**, se define como el proceso natural por el que se sustituyen comunidades vegetales, o estadios, por otros dentro de un mismo sitio (Glosario INE, 2007). Las sucesión pueden ser progresiva o regresiva (Glosario de Botánica, 2007).

Huss (1993) respecto a la sucesión regresiva indica que generalmente se la llama "*retrogresión*", y en relación con la sucesión progresiva, indica la existencia de dos tipos: *primaria* y *secundaria*.

La sucesión primaria es el desarrollo original y simultáneo de vegetación con su suelo asociado. Así, hasta alcanzar el clímax, se produce el "*marchitamiento, muerte y descomposición de la planta*" en un desarrollo armonioso entre factores climático, edáfico, fisiográfico y biótico, cada uno influyendo en el otro, hasta que se alcanza el equilibrio entre todos estos factores. El estado de equilibrio de la sucesión primaria es la forma de desarrollo natural más alta que es capaz de producir los factores ambientales.

Una alteración del clímax, por acción química o mecánica (pastoreo, u otras acciones antrópicas) provocará la retrogresión de la sucesión, sin embargo, si se posibilita, la naturaleza restaura el daño mediante la **sucesión secundaria**. La sucesión secundaria es mucho más rápida que la primaria debido a que el suelo ya está formado; aunque deteriorado y con necesidad de ser restaurado al igual que su comunidad vegetal asociada. Consecuentemente, la sucesión secundaria, es la que resulta para Huss (1993) de una *retrogresión o degeneración*, que es el reemplazo de una comunidad vegetal de orden ecológico superior por una comunidad de orden ecológico inferior- este autor indica, que el clímax está caracterizado por el dominio de especies y ecotipos de especies que en la mayoría de los casos son las especies forrajeras más productivas que puede producir en forma natural un ambiente determinado.

Así, al deterioro de la vegetación por sobrepastoreo, inundación, quema, desmonte, le sigue la degradación del suelo, que se inicia por la pérdida de materia orgánica, estructura, y consecuente erosión. Si las alteraciones de la vegetación son extremas, se puede retrotraer a etapas iniciales de la sucesión primaria, pero si las condiciones edáficas cambian, también cambiará la nueva sucesión que conducirá a un nuevo clímax. Por el contrario, si la alteración se compensa o elimina oportunamente, la sucesión retrocede hacia el clímax inicial. A esto se llama sucesión secundaria, es decir cualquier sucesión después de la sucesión inicial y primaria. La sucesión secundaria, comienza con etapas más avanzadas de desarrollo del suelo y de comunidades vegetales, por lo tanto el mejoramiento a través de la sucesión secundaria puede ser bastante rápido.

Respecto a la evolución e influencia de las plantas en el ambiente, especialmente en el microclima donde se desarrollan, Huss (1993) indica que puede ser beneficioso o desastroso, dependiendo de las circunstancias. Así, en general, la temperatura y evaporación del suelo aumentan, mientras que la infiltración de la lluvia disminuye, con la retrogresión, produciendo un microclima de *tipo desértico (xerítico)* en el que sólo pueden vivir especies desérticas o xerofíticas. En la **sucesión secundaria** ocurre lo contrario y el resultado final es un microclima más húmedo (*mésico*) favorable para **especies mesofíticas**, pero desfavorable para xerofíticas. Así, en la sucesión secundaria, la reacción crea un hogar que es "*demasiado*" bueno para especies de orden ecológico inferior pero que es lo "*justo*" para especies de orden superior. Suponiendo que todos los factores sean iguales, no habrá barrera para la migración, ecesis (establecimiento exitoso de una semilla u órgano de reproducción vegetativa) y agregación de las últimas, por lo que se desarrollarán y dominarán. En consecuencia, la

reacción no sólo es esencial para la sucesión secundaria, sino que también es un catalizador (Huss, 1993).

Respecto a la *sucesión vegetal*, PMI (1999) indica que en la sucesión ecológica existe una diferencia entre el proceso gradual de organización y su interrupción por un acontecimiento (por ej. inundación) previsible en su tipo pero imprevisible en su momento, y destaca las características de cambio del medio físico, como por ejemplo el ciclo hidrológico en una escala comprensible del tiempo.

En este último informe, se destaca, que en ambientes profundamente afectados por actividad antrópica, como sucede en la Cuenca del Río Salado de la provincia de Buenos Aires, surge la necesidad de conocer la vegetación potencial, aquella que se observaría si se minimizaran o anularan las actividades humanas. Así, generan un modelo empírico de la relación entre vegetación natural o seminatural y el ambiente, en el cual, en coincidencia con lo indicado por otros autores en punto 2.1.3.3, se reconocen cuatro comunidades principales, pradera de mesófitas, pradera húmeda de mesófitas, pradera de hidrófitas, y estepa de halófitas.

La estrecha relación de comunidades vegetales con el suelo, determina que la asociación suelo-relieve-comunidad vegetal resulte indisociable. En relación con esto último, se destaca que en general, en la Pradera Pampeana Argentina, denominada también Llanura Chaco-Pampeana, las asociaciones naturales se dan en general entre comunidades herbáceas y suelo; con algunas excepciones de comunidades arbóreas o arbustivas, si bien, esto no ocurre en el noroeste bonaerense (INTA, 1977). Así, el CFI (1980) realizó la cartografía vegetal de la zona de la Pampa deprimida (incluida dentro de la Cuenca del Río Salado) indicando las relaciones que existen con el ambiente, y concluyen que en la distribución de comunidades vegetales prevalece la comunidad condicionada por factores edáficos más que por características climáticas. Se describen un total de seis comunidades edáficas con vegetación azonal), las cuales se corresponden parcialmente con la división efectuada por el PMI (1999).

Respecto al proceso de definición de comunidades potenciales que indica el PMI (1999), se destaca que consideran que está implícito el supuesto de que la vegetación recuperará su condición original si la presión de la agricultura es eliminada o disminuida. Algunas evidencias sugieren que este supuesto tiene más fundamento en algunas sub-regiones pampeanas que en otras. Así, en la Pampa Interior, la exclusión de la agricultura e incluso del pastoreo no resultan en una recuperación rápida de la vegetación natural tal como sucede en la denominada Pampa Deprimida donde la vegetación que está en equilibrio con el clima, suelo y pastoreo, se recupera en un plazo de 5-10 años (León y Oesterheld 1982, León *et al.* 1984, Oesterheld y León 1987 en PMI, 1999). Por el contrario, en la Pampa Interior, Omacini *et al.*, 1995 (en PMI, 1999) indican que la recuperación parece no ocurrir ni siquiera en plazo aún mayor, y lo atribuyen a la fragmentación diferente del hábitat que genera la agricultura en uno u otro sitio.

Si bien en ambas Pampas, interior y deprimida, se producen inundaciones que alternan con sequía, la alternancia entre sequía e inundación adquiere con frecuencia una característica más definida en los ambientes del noroeste (Pampa interior), donde los ecosistemas son más frágiles. Así, el suelo en general tiene escasa evolución, textura arenosa, bajo contenido en materia orgánica, es susceptible a la erosión, y asociado con estas características edáficas, y del ambiente, presenta una variabilidad en salinidad, alcalinidad, e hidromorfismo mucho más marcada y rápida ante cambio climático, productivo o del ciclo hidrológico. En la Pampa deprimida, por el contrario, prevalece suelo arcilloso, rico en materia orgánica, profundo, muy evolucionado y consecuentemente menos sujeto a cambio.

Esto se corresponde, con lo indicado en el informe del PMI (1999) donde se indica que los cíclicos períodos de inundación y sequía provocan rápidos cambios sucesionales, tales como

los que se da en lagunas temporarias con presencia de distintas especies de plantas acuáticas tanto emergente (*Ciperáceas*) como sumergida (*Haloragaceas*, *Ceratofilaceas*, *Potamogetonaceas*, etc) en los momentos de aguas alta, a pradera de especies halófitas (*Quenopodiaceas*, *Juncaceas*) en los momentos de agua baja, donde el espejo de agua se reduce significativamente aumentando la salinidad hasta un orden de magnitud. Asimismo, se destaca la importancia del régimen hídrico en la estructura y heterogeneidad de la pradera húmeda de mesófitas y pradera de hidrófitas.

Al respecto, se destaca lo indicado por Insausti *et al.* (2005) quienes indican que la inundación en un ambiente de pradera de mesófitas, con suelo libre de sales, *Hapludol*, *Argiudol*, y en el peor de los casos, *Natracuol*, la inundación revierte los efectos negativos del pastoreo, aumentando la biomasa de graminoides que compensa la disminución de dicotiledóneas que se produce por el pastoreo. Destacan que algunas especies vegetales de amplia difusión, como *Paspalum dilatatum*, aumentan su productividad con condiciones de inundación Sin embargo, los resultados de este trabajo, se vincula a la resistencia de las especies al anegamiento, en áreas que son claramente de recarga, situación que será diferente en zonas de descarga.

Se destaca que los trabajos que analizan el efecto de las inundaciones en el suelo y comunidades vegetales, no consideran la influencia que tiene el hecho de corresponder dichos suelos a zonas de descarga o recarga, aspectos que explican mucho de los interrogantes que los autores se plantean en sus análisis sobre este tema.

A-2.2. Censos florísticos en sitios del noroeste bonaerense

Se presenta a modo de ejemplo un detalle de censo florístico efectuado en la región de la presente tesis en algunos sitios en donde la comunidad vegetal es aún prístina como en *Carlos Casares*; mezcla de comunidad vegetal prístina y especies implantadas como en *Pehuajó*, y donde sólo hay vegetación considerada maleza asociada a la historia del lote, y ubicación en el relieve como en *9 de Julio* (Bayón, comunicación personal).

En la localidad de *Carlos Casares*, se describen *estepas de halófitas* sobre *Natracuol típico*, con diferente especie dominante según posición y nivel de salinidad-alcalinidad-hidromorfismo:

- **Bajo entre lomadas**, tiene relieve subnormal y pendiente cercana al 0.5%, suelo *Natracuol Típico*, con alto nivel de sodificación y salinidad desde superficie (pH 9, conductividad eléctrica, CE 4.14dS/m y relación de adsorción sodio, RAS 34.8). La superficie freática se encuentra a 0.7m de profundidad, con signos de gleyzación (hidromorfismo) y concreción de CaCO_3 . *Estepa de halófitas* dominada por *Puccinellia glaucescens*, especie particular de suelo con fuerte presencia de salinidad, cobertura vegetal de 90% y altura de 0.5m. Le siguen en importancia: *Aster squamatus*, *Chenopodium macrospermum*, *Bolboschoenus paludosus*, y *Paspalum vaginatum*; y en menor proporción, *Baccharis juncea*, *Distichlis spicata*, *Lachnagrostis filiformis*, *Ranunculus apiifolius*, *Sesuvium portulacastrum*, *Sonchus oleraceus*, *Spergula salina*.

- **Bajo o llano tendido**, se caracteriza por tener *Natracuol Típico*, con menor nivel de sodificación y salinidad que en el punto anterior (pH 9, CE 1.4dS/m, y RAS 13), superficie freática a 1.1m de profundidad, signos de gleyzación y concreciones de CaCO_3 , *estepa de halófitas* dominada por *Distichlis spicata* "pelo de chancho".

- **Bajo, muy próximo al margen de la laguna**, es de relieve subnormal, la pendiente casi nula, suelo *Natracuol Típico* con alcalinidad y salinidad mayor que en los puntos anteriores (pH 9, CE 13dS/m, y RAS 47), superficie freática a 0.6m, *estepa de halofitas* dominando *Sarcocornia perennis* "Jume" y *Distichlis spicata* "pelo de chancho". Cobertura vegetal del 50% y altura de 0.20m. En menor medida se encuentran las especies: *Sesuvium portulacastrum*, *Puccinellia*

glaucescens, *Baccharis juncea*, *Chenopodium macrospermum*, *Heliotropium curassavicum* var *Argentinum*.

En la localidad de Pehuajó, se tienen estepas de halófitas y mesófitas con alta proporción de malezas y algunas especies implantadas de calidad forrajera:

- **Bajo entre lomadas medianosas**, tiene bajo tendido, situado entre un pequeño médano y una laguna, la pendiente es baja, el suelo *Natracualf* típico es alcalino, salino e hidromórfico (pH 7,8-8.3; CE 5.06-8.35dS/m, y RAS de 37.3-50.2, en superficie y subsuperficialmente respectivamente). Se tiene una *Estepa de halófitas* dominada por *Distichlis spicata* con cobertura vegetal de 60% y altura de 0.20m. Sigue en importancia: *Sarcocornia perennis*, y con mucha menor presencia, *Melilotus indicus*, *Plantago myosuroides*, *Sesuvium portulacastrum*, *Heliotropium curassavicum* var. *argentinum*, *Polygonum avicular* y *Sonchus oleraceus*.

- **Lomada medianosa**, el relieve es normal-convexo con pendientes cortas, que no superan el 1%. En este sector se aprecia una influencia mayor por parte del ganado. El suelo es *Hapludol thapto nátrico* (pH 6.5-7.5, CE 0.66-1.96dS/m, y RAS 6.6-14.0 en superficie y subsuperficialmente, respectivamente). La superficie freática se encuentra a partir de 2.00m de profundidad. *Pradera de mesófitas*, conformada por algunas especies de pasto consideradas como buenas forrajeras tales como *Bromus catharticus* "Cebadilla criolla" y *Festuca arundinacea* "Festuca alta", y otras que demuestran cierta degradación, consideradas malezas como *Cynodon dactylon* "Gramilla" o *Ambrosia tenuifolia* "Altamisa". La cobertura vegetal es de 100% y la altura es de 0.10m por pastoreo. En relación con abundancia; prevalece mayoritariamente *Cynodon dactylon*, y siguen en importancia, *Bromus catharticus*, *Festuca arundinacea*, *Ambrosia tenuifolia*, y en menor medida, *Cirsium vulgare*, *Dactylis glomerata*, *Conyza* sp., *Hypochaeris chilensis*, *Gamochoaeta coarctata*, *Juncus* sp., *Paspalum dilatatum*, y *Taraxacum officinale*.

- **Bajo**, el relieve normal-subnormal del terreno tiene escasa expresión de pendiente menor al 0,5%. Al igual que en los puntos anteriores el potrero está siendo pastoreado. *Hapludol thapto nátrico* (pH 7.7-7.2; CE 5.18- 3.23dS/m, y RAS 41-18.7 en superficie y subsuperficialmente respectivamente). La superficie freática se encuentra a más de 2.0m de profundidad. Al igual que en los casos anteriores, no se corresponde con ninguna comunidad típica. Prevalecen: *Cynodon dactylon*, *Distichlis spicata*, y *Festuca arundinacea*, y en menor medida, *Ambrosia tenuifolia*, *Cirsium vulgare*, y *Conyza* sp., y menos aún, *Taraxacum officinale* *Baccharis juncea*, *Cyclosporum leptophyllum*, *Gamochoaeta coarctata*, *Lolium multiflorum* y *Rumex crispus*. La cobertura vegetal es de 100%. Con excepción de *Festuca arundinacea* "Festuca alta", las especies restantes son malezas con ningún o escaso valor forrajero.

La localidad 9 de Julio no se describe comunidad prístina, sólo posee maleza y pastura implantadas.

- **Bajo entre lomadas medianosas** en relieve es subnormal, pendiente 0.5%, con suelo *Natracuol* típico (pH 9.4 en superficie, y CE 0.76-2.5dS/m, y RAS 9.3-27.9 superficial y subsuperficialmente respectivamente). La superficie freática se encuentra a 1.0m de profundidad. No hay comunidad prístina, sino que está compuesta principalmente por malezas luego de cultivo de soya y al momento de muestrear está pastoreado por ganado vacuno. Prevalecen: *Cynodon dactylon*, acompañada de *Lolium multiflorum*, *Melilotus indicus*, *Plantago myosuroides*, y *Sonchus oleraceus*, y con menor presencia, *Ambrosia tenuifolia*, *Cirsium vulgare*, *Carduus acanthoides*, y *Medicago lupulina*. La cobertura vegetal es del 90% y la altura es de 0.10m.

- **Loma plana**, relieve es subnormal con pendiente inferior al 0.5%, el suelo es *Hapludol* típico (pH 8.8-9.1, CE menor a 1dS/m superficial y subsuperficialmente, y RAS 8.6-11.4 en superficie

y subsuperficialmente, respectivamente). No hay comunidad prístina, sino presencia de maleza por agricultura y ganadería. Prevalece: *Conyza bonariensis*, *Melilotus indicus*, *Poa annua*, y en menor proporción *Ambrosia tenuifolia*, *Cirsium vulgare*, *Medicago lupulina*, *Senecio grisebachii* var. *schyzotus*, *Sonchus oleraceus*, *Anagallis arvensis*, *Chenopodium álbum*, *Lachnagrostis filiformis*, *Matricaria recutita* y *Conium maculatum*. La cobertura vegetal es del 70% y la altura de 0.10m.

- **Lomada medanosa**, posee pendiente corta que no superan el 1%. El suelo, *Hapludol éntico* no es sódico ni salino, y su pH es 6. La superficie freática se encuentra a más de 2.0m de profundidad. Este punto se halla en el mismo sitio que el punto anterior, aunque en una posición más alta del terreno. Su vegetación tampoco se corresponde con una comunidad natural, sino por el contrario, está conformada por una serie de especies de dicotiledóneas que pueden considerarse **malezas** dominada por *Cerastium glomeratum*, y *Gamochaeta coarctata*, y acompañadas por *Anemone decapetala*, *Conyza* sp, *Hypochaeris chillensis*, *Sonchus oleraceus*, *Sisyrinchium* sp., *Oenothera indecora* subs. *indecora*, *Glandularia dissecta*, *Linaria canadensis*, y *Veronica arvensis*. La cobertura vegetal es de 95% y la altura de 0.10m.

De lo descrito, se aprecia la profunda alteración antrópica de la región en general, tanto más cuando mejores son sus suelos, existiendo además, una variabilidad muy alta en el nivel de salinidad, alcalinidad, e hidromorfismo, que posibilitaría, al igual que lo efectuado por el CFI (1980), diferenciar comunidades edáficas dentro de las comunidades presentadas por PMI (1999), y que mejor se relacionen con el tipo de flujo de agua subterránea presente, con mayor o menor salinidad y alcalinidad.

⇒ ANEXO A-3 Cambio climático y variabilidad del clima

En esta parte del anexo A, se amplían temas relativos al punto 2.1.5.4 sobre Cambio climático y variabilidad del clima

Se incluyen los siguientes puntos: A-3.1. Reseña de acontecimientos internacionales vinculados al cambio climático y protección del ambiente; A-3.2 El clima, cambios y consecuencias en la Argentina; A-3.3 Imprecisiones en las mediciones climáticas en la Argentina; y A-3.4 Conceptos del clima, paleoclima, paleosuelos, y climosecuencia

A-3.1 Reseña de acontecimientos internacionales vinculados al cambio climático y protección del ambiente

A continuación se indican algunos de los *acontecimientos internacionales* que dieron origen a actuales acciones y programas nacionales e internacionales, de tipo intersectoriales, vinculados al cambio climático y a la protección del ambiente:

- **Ginebra 1990**, se elabora el documento preparatorio que diera el referente para la 2ª Conferencia Mundial sobre el Clima, donde se establecieron los fundamentos para la formación de la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)**.

- **Río de Janeiro 1992**, el documento elaborado en Ginebra, fue firmado por los países participantes de la **Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro**, en mayo de 1992, en lo que se suele llamar la "**Cumbre de la Tierra**". Esta Convención tiene como objetivo afrontar uno de los retos ambientales más grandes: estabilizar las concentraciones de los **Gases de Efecto Invernadero** (GEI) a la atmósfera en niveles que prevengan interferencia antropogénica dañina, sin que afecte el crecimiento económico de países miembros. Así, los Estados se comprometen a desarrollar tecnologías y procesos de control que disminuyan la emisión de estos gases, a promover el manejo sostenible de sumideros y reservorios de carbono, a cooperar en la investigación y observación del sistema climático (Galarza, 2005). Se afirma que la filosofía de la **CMNUCC** fue establecer mecanismos financieros que permitan a los países desarrollados, o en vías de desarrollo, solventar los

costos en que deberían incurrir para asegurar el crecimiento con tecnologías “limpias”. Asimismo, se comprometen a transferir (vender) y promover entre países, el acceso a tecnologías que estuvieran alineadas con las ideas de la Convención.

En un principio, no se fijaron compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero cuantificables, pero se diseñó el referente adecuado para negociar esas reducciones. Así, se realizaron lo que se denominan **Conferencias de las Partes**, que es el Organismo Supremo de la Convención, el cual se reúne a fin de establecer las pautas en que los Estados miembros deben actuar. Hasta el 2005, se realizaron 11 Conferencias de Partes, algunas de estas fueron: Berlín, 1995; Kyoto, 1997; Milán, 2003; Buenos Aires, 2004; Montreal, 2005. La última fue realizada en mayo de 2007 en Bonn, Alemania.

- **Berlín 1995-Kyoto 1997**, entre la primer Conferencia de las Partes realizada en Berlín en 1995 y la tercera en Kyoto en diciembre de 1997; los miembros negociaron la forma en que los países más desarrollados debían reducir sus emisiones y hasta que niveles remitirse.

- **Kyoto 1997**, el 11 de diciembre de 1997 países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, Japón, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5% de la media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. Así, por ejemplo, si la contaminación de estos gases en el año 1990 alcanzaba el 100 unidades, al término del año 2012 deberá ser del 95 unidades. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero del 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre del 2004. El objetivo principal es disminuir el *cambio climático de origen antropogénico* cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8°C del presente al 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos, esto se conoce como *Calentamiento Global*.

Son seis los gases que provocan el calentamiento global y que se comprometieron a disminuir en el Protocolo de Kyoto: *dióxido de carbono* (CO₂), *gas metano* (CH₄) y *óxido nitroso* (N₂O), así como tres gases industriales fluorados: *hidrofluorocarbonos* (HFC), *perfluorocarbonos* (PFC) y *hexafluoruro de azufre* (SF₆) (Protocolo de Kyoto, 1997).

Lo indicado no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un cinco por ciento, sino que éste es un porcentaje a nivel global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir. Así, en el Protocolo de Kyoto (1997) se establecieron normas legalmente obligatorias en la reducción de gases de efecto invernadero, y mecanismos que flexibilizan, contribuyen o incentivan la adopción de mecanismos de reducción de emisiones a los países con compromiso de reducción. Éstos integran el listado conocido como *Anexo I*, que son los países más desarrollados, y que deben bajar el nivel de sus emisiones en un 5,2% en conjunto, por debajo del nivel que tenían en 1990. Los países en vía de desarrollo, tal como Argentina, se adhieren al Protocolo pero no están obligados a cumplir con una reducción cuantificada durante el primer período de cumplimiento (2008-2012). Su participación en la *Conferencias de las Partes*, es como veedores del proceso. La firma del tratado es una expresión del principio de responsabilidad común pero diferenciando entre los países más emisores de gases de efecto invernadero. Los miembros de *Anexo I* deberán demostrar en ese periodo su reducción efectiva. Los que demuestren dificultades para llegar a cumplir con las metas asignadas podrán acceder a un mecanismo financiero que aliviará su compromiso. Este da origen a los Derechos de Emisión Certificados que podrán ser negociados entre partes en el “*Mercado de Emisiones o de Carbono*” y desarrollando lo que se denomina “*Mecanismo de Desarrollo Limpio*”, en el cual los países en función de sus logros o retrasos negocian su crédito o deuda entre sí.

En otras publicaciones, se indica que dentro del concepto de **gases de efecto invernadero**, se incluyen gases que están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana y algunos gases artificiales, producto de la industria. Dentro del grupo se incluyen los siguientes: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃), y clorofluorocarburos (CF₂Cl₂ y CFCl₃ artificiales) (Wikipedia, 2007).

Asimismo, se destaca que si bien el efecto invernadero es un fenómeno natural, la alusión frecuente a él en relación con el **calentamiento global** hace suponer en ocasiones que es en sí indeseable, y una consecuencia reciente de la contaminación atmosférica. Sin embargo, el calentamiento no es atribuido a la simple existencia, sino al incremento del efecto invernadero por encima de sus valores anteriores. Por otra parte, es también importante señalar que las características del *clima y su variación temporal dependen de otros factores*. Como se indicó, las opiniones en el mundo científico son diversas y con frecuencia encontradas, principalmente cuando se analiza su origen (Wikipedia, 2007).

A-3.2 El clima, cambios y consecuencias en la Argentina

En este punto, se destacan las siguientes publicaciones recientes que analizan en la Argentina el clima, cambios y consecuencias:

Magrin (2007) efectúa un análisis sobre las consecuencias en la producción, degradación de las tierras, como consecuencias del que afirma es un cambio climático. Cita a Haylock *et al.* (2006) quien indica que en América del Sur, durante las últimas décadas del siglo XX se registró un *aumento significativo de la lluvia* en el sur de Brasil, Uruguay, *centro y noreste de Argentina*, noroeste de Perú y Ecuador, mientras que hubo reducciones, en el centro-sur de Chile, *sudoeste de Argentina* y sur de Perú. Asimismo, indica que en las tres últimas décadas ocurrieron dos mega-ENSO (1982-83 y 1997-98) y otros eventos extremos que contribuyeron a incrementar la vulnerabilidad de la agricultura a los desastres naturales. Destaca las lluvias más intensas para el período 1960–2000. Zonas secas como, centro y norte de Chile, costa de Perú, noreste de Brasil, Chaco seco, Cuyo Centro, y *noroeste de Argentina*, entre otras, han padecido grandes impactos debido a pérdidas productivas relacionadas con la degradación ambiental. Entre los procesos de degradación que este autor relaciona al cambio climático, son los procesos de salinización y desertificación. Se destaca que este autor, analiza las temperaturas en Latinoamérica desde 1860, y las precipitaciones, sólo desde 1960. Por otra parte, no considera otros factores vinculados a las degradaciones y que debería incorporar a fin de realizar un análisis completo. Sobre las degradaciones, se mencionó en el punto 2.1.3.4., del cual se desprende que son muchos los factores que intervienen (naturales, culturales, sociales, productivo, y económico) sobre la degradación y sustentabilidad de los sistemas productivos y de los ecosistemas naturales.

Lozanoff y Cap (2006), parten de la premisa generalizada de que la ocurrencia de cambios en el clima son por el aumento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IPPC, 2001, "Climate Change The Scientific Basis", Cambridge University). Sin embargo, indican que los temores de los efectos catastróficos sobre la actividad agropecuaria global no parecen tener sustento, aunque pueda tener efectos regionales muy marcados y que en algunos casos pueden trastocar los sistemas productivos. Estos autores, realizan una estimación empírica del impacto del cambio climático y los mecanismos de adaptación en el sector agropecuario de Argentina, mediante el uso del método Ricardiano. Este método fue desarrollado por Mendelsohn *et al.* (en Lozanoff y Cap, 2006) y aprobado por la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (2005) para estimar los efectos climáticos examinando no sólo el impacto directo de los diferentes ambientes sobre los establecimientos agropecuarios, sino también los efectos indirectos de adaptación del productor.

Para la Argentina Lozanoff y Cap (2006) encuentran que existe una fuerte correlación entre el ingreso neto y las variables climáticas, en especial queda en evidencia la fuerte dependencia que tienen la temperatura invernal y las precipitaciones estivales. Encuentran además, que los pequeños productores (agricultores con pequeñas superficies para producir) presentan una mayor elasticidad ante el cambio de las variables climáticas, pero que sus óptimos se encuentran desplazados respecto de las medias climáticas, lo cual indicaría una cierta dificultad de adaptación. Estos autores, analizan entonces, la problemática de variaciones en el clima, y sus consecuencias en la producción sin polemizar sobre su origen, sin embargo, destacan que los cambios en el clima no resultan catastróficos, como se suele plantear.

Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006) analizan el tema en el mundo y en especial en Argentina, e indican que desde el inicio de la revolución industrial las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) se incrementaron en un 26% y 8%, respectivamente; el primero como consecuencia del uso de combustibles fósiles y deforestación, y el segundo, aunque no está bien especificado se atribuye a la agricultura. Este último tiene gran importancia por perdurar 100 años en la atmósfera, reaccionar con el ozono, transformándose en monóxido de nitrógeno.

Estos autores indican que en Argentina no presenta alto índice de emisión de CO₂ aunque si menciona las falencias en el control de los procesos agrícolas, y la elevada deforestación de bosques nativos. En relación con los cambios, indican que no hubo grandes variación en la temperatura máxima, aunque sí en la mínima, esta última por el efecto invernadero, y la máxima disminuye por aumento de la precipitación. Según estos autores, el aumento de precipitación en todo el país data de la década de 1970, destacando que en el sur de Buenos Aires y en La Pampa, comenzó en la década de los 1960. La temperatura media anual en Argentina ha aumentado cerca de 1°C en el último siglo, siendo la década de 1990 la más calurosa en el siglo, y 1995, el año más caliente del siglo; destacan que estos cambios han ocurrido en todas las estaciones casi por igual, siendo algo mayor en la estación invernal. Paralelamente, se ha indicado una disminución de las heladas en un 10% en el número de días con heladas por año. Respecto a la precipitación, indican que ha habido un incremento entre 10 y 5% para las estaciones de verano e invierno respectivamente, lo cual ha tenido incidencia significativa en el caudal de los ríos; así por ejemplo destaca los efectos sobre los ríos que avanan hacia el este de los Andes y como estos muestran interrelaciones con la oscilación sureña/El Niño, tal como los ríos de la provincia de Mendoza, que son más propensos a experimentar alto caudal durante los estados tempranos de eventos cálidos de El Niño, debido al aumento de las nevadas sobre los Andes.

Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006), indican el desvío de la precipitación estacional para el periodo 1961-90, respecto al promedio de 1900-1998, el cual fue de 211mm en el verano, y 168mm en otoño. A nivel local, para la provincia de San Luís, y provincias vecinas estos autores indican el corrimiento de las isohietas desde 1950, con mayor precipitación, que afecta a cerca de 4 millones de hectáreas, donde actualmente la precipitación anual es mayor a 500mm en los últimos 50 años. Asimismo, se produjo el corrimiento del índice de aridez de la provincia hacia el oeste. Así, para 114 sitios del centro de Argentina, principalmente San Luís y provincias vecinas, para 1960 y 1999, indica una variación positiva de la precipitación equivalente al 91% del promedio en el siglo. Para este punto, Berton *et al.* concluyen que si bien algunos autores indican que esto es producto de un ciclo húmedo temporal, en lo personal, consideran que debería atribuirse a un “cambio climático” que abarca Paraguay, sur de Brasil y casi toda la Argentina.

Girardin (2006) describe y analiza como afectaría en la producción agrícola-ganadera argentina, lo que denomina “Cambio Climático”, debido a la elevación de la concentración de CO₂, aumento de temperatura, y limitaciones por exceso o déficit hídrico. Encuentra que el efecto

sobre el cultivo es variable, pudiendo ser positivo o negativo según el sitio y cultivo, conduciendo en muchos casos al desplazamiento de la frontera agropecuaria. No obstante este autor reitera el uso de la expresión “cambio climático”, no dá elementos para establecer que efectivamente pueda así ser definido. Específicamente, para la región del noroeste bonaerense, destaca que la ocurrencia de inundaciones y sequías es una problemática que se reitera en forma cíclica, y que se ha agravado en los últimos años.

El PMI (1999) en el informe sobre Hidrometeorología realizado para toda la Cuenca del Salado, también describe la variación climática bajo el término de “cambio climático”, indicando la magnitud de dicha alteración en relación con temperatura y precipitación. Sin embargo, para el periodo que analizan entre 1911 y 1996, indican que el cambio esperado en la cuenca para la precipitación por estación equivalen a un descenso en la lluvia de aproximadamente 5% (primavera, 2.3%; verano, 7.4%, otoño, 9.3% e invierno, 1.7%), e indican que bajo este escenario climático la disminución de la precipitación sería de aproximadamente la mitad del aumento registrado durante las últimas dos décadas. Con respecto a la temperatura encontraron que el aumento en la variación para la primavera es de 2.3°C; verano 2.4°C; otoño 1.9°C e invierno 1.5°C. La temperatura tiende a ser mayor en los meses más calurosos que en los más fríos. El aumento anual promedio en la temperatura es de 2.0°C y durante las últimas cuatro décadas es equivalente a un aumento del 0.2°C comparado con el promedio a largo plazo, siendo entonces los efectos potenciales de la temperatura mucho más severos que en el caso de la precipitación.

Gómez y Menni (2004) indican para la ecoregión de las pampas en la provincia de Buenos Aires, que un importante cambio ambiental produjo desplazamiento de peces (ictiofauna) al darse condiciones favorables para su desarrollo hacia occidente del meridiano 61° oeste. Estos autores, lo atribuyen al aumento progresivo de precipitación y temperatura que se produjo en los últimos 40 años (precipitación media anual de 700 a 950mm y temperatura mínima media anual de 8.9 a 10.1°C). Asimismo, señalan la presencia del cambio topográfico reciente debido a la construcción de canales de descarga y drenes, alteración de pendiente, terraplenes, que interconectaron distintos territorios del oeste con la Cuenca del Salado, y posibilitó que peces de otros ambientes colonizaran el oeste. Consecuentemente, tampoco se dispone de elementos que permitan afirmar que es producto de un cambio climático. Por otra parte, la conexión realizada entre cuencas mediante los canales mencionados en punto 2.1.1 (Figura 2.3) es posiblemente la causa de esto, hecho que también mencionan los autores.

Ravelo *et al.* (2000) para el periodo 1999-2000, utiliza el índice de Sequía de Palmer o Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (ISSP), como parte de un sistema operativo de detección y alerta de la sequía para fines agrícola-ganadero, que combina información terrestre e imágenes satelitales. Se presenta además, la evolución del índice Palmer entre 1970 y 1998, en dos localidades Río Cuarto en Córdoba y Ceres en Santa Fe. Se aprecia una variabilidad muy marcada entre sequías extremas y humedad severa. Sobre este índice resulta pertinente hacer referencia, por su difusión en otros sitios en los cuales se cuenta con mayor información edáfica. Este índice fue desarrollado para medir la intensidad, duración y extensión espacial de la sequía. Se obtiene a partir de medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, los valores varían desde -6.0 (sequía extrema) a +6.0 (condiciones extremas de humedad).

A-3.3 Imprecisiones en las mediciones climáticas en la Argentina

En este punto, se amplía lo mencionado respecto a las imprecisiones que presenta la información climática en la Argentina:

En el PMI (1999) se indica que efectúa un análisis meteorológico a partir de información de aproximadamente 260 estaciones meteorológicas y concluye con tan sólo 11, a partir

aproximadamente de la década de 1990. Asimismo, es de destacar lo señalado por Etcheverría y Giulietti en (Etcheverría *et al.*, 2006) quienes indican que debido a la información dispar y variable en intensidad de registros climáticos de la provincia de San Luis, recurren a procedimientos estadísticos (geoestadística y kriging) y cálculos matemáticos, para establecer las isohietas de dicha provincia, y precipitaciones medias probables. Procedimiento, que aunque complejo, no parece ser lo más fiable para evaluar la tendencia de la precipitación, ya que es difícil que puedan subsanar la ausencia de información tan variable como lo es la precipitación.

Sobre los *procedimientos de análisis*, González y Penalba (en CIMA-CONICET, 2006) revisan los antecedentes climáticos del país, e indican que en los últimos 40 años se han producido cambios importantes en las precipitaciones. Sin embargo, estos cambios comúnmente están cuantificados en términos de cambios en totales de precipitación sobre determinados períodos de tiempo, anual, estacional, mensual, que si bien puede ser útil en muchas aplicaciones, no revelan aspectos de cómo la precipitación cambia dentro de dicho período, o si estos cambios son debido a cambios en la intensidad de lluvia y/o si ha aumentado el número de días de lluvia que supere determinado umbral.

Relativo a la *falta de información* para la Cuenca del Salado, problemática y soluciones, González y Natenzón (en CIMA-CONICET, 2006) indican que la Provincia de Buenos Aires ordena el manejo hídrico mediante el Código de Aguas (Ley 12.257/99), siendo la institución de aplicación la Autoridad del Agua (Gobierno de la Provincia de Buenos Aires) entre cuyas misiones se encuentra “*aplicar defensa contra las inundaciones y sequías*” y “*confeccionar cartas de riesgo hídrico de las zonas que pueden ser afectadas por inundaciones*”. Para esto resulta necesario contar con datos que permitan definir las cotas para recurrencias de 5 años bajo las cuales no deben producirse construcciones ni asentamientos. Sin embargo, dado que esta información no existe, dicho organismo sólo puede realizar este ordenamiento teniendo en cuenta información cualitativa de baja confiabilidad. La misma limitación de datos básicos es la que impide realizar un diseño de obras acorde con los fenómenos que se busca mitigar.

Estos autores, indican que la *carencia de bases de datos hidrológicos* para la región en estudio es un obstáculo serio si se pretende realizar proyecciones que permitan tomar medidas de prevención y mitigación, sin embargo, indican que esta carencia ha sido subsanada por investigadores, profesionales y técnicos, mediante el uso de datos climáticos, imágenes satelitales (con la limitante de que no se tiene información anterior a la década de 1980) y modelos de simulación, tal como ha ocurrido en la formulación del PMI (1999) para determinar la hidrodinámica de la cuenca. Al respecto, se destaca que si bien es meritoria y valiosa la labor que técnicos e investigadores realizan al intentar subsanar la desidia gubernamental o abandono de lo “*importante por lo urgente*”, no resulta factible suponer que con tan poca información climática, sin ninguna información de agua subterránea, tal como se han diseñado los canales del PMI (1999), puedan obtenerse resultados que se ajusten a la realidad. Es sin duda, seguir engañándose con que las técnicas de última generación y profesionales idóneos pueden evitar el trabajo sencillo, diario y permanente de relevamiento, que todo país debería programar y disponer, si efectivamente desea progresar.

Es de destacar que un número importante de Estaciones Experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, se ha abocado en los últimos años a subsanar lo indicado con información de campo, habiendo instalado para ello una gran red de freatómetros, y pluviómetros (INTA Pehuajó, INTATrenque Lauquen, INTA-MAABarrow, entre otros).

A-3.4 Conceptos del clima, paleoclima, paleosuelos, y climosecuencia

En este punto, se presenta el significado de estos conceptos, debido a que el consenso en los mismos, y su reconocimiento, permiten analizar con mayor claridad lo que efectivamente ocurre en el área de estudio en relación al clima, cambios o variabilidad.

El **clima** es el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante un periodo de tiempo suficientemente largo. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente (Wikipedia, 2007).

El clima es un *sistema complejo* por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir. Así, hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente, a variaciones sistemáticas como el aumento de la *radiación solar o las variaciones orbitales* pero, por otra, existen fluctuaciones caóticas debidas a la interacción entre influencias internas y externas a la tierra. De este modo, ni los mejores modelos climáticos tienen en cuenta todas las variables existentes por lo que sólo se puede aventurar una previsión de lo que será el tiempo atmosférico del futuro más próximo.

Sobre el clima influyen muchos fenómenos; consecuentemente, un cambio en estos fenómenos provoca cambio en el clima. Un cambio en la emisión del sol, en la composición de la atmósfera, en la disposición de los continentes, en las corrientes marinas o en la órbita de la Tierra puede modificar la distribución de energía y el balance radiativo terrestre, alterando así profundamente el clima planetario.

Se reconoce entonces, que existen dos facetas principales en las diferentes escalas de tiempo, que hacen que las condiciones climáticas sean cambiantes, en el día, en el año, en décadas, o en mayores periodos. Así, hay variaciones regulares que se observan generalmente a las pocas décadas de realizar mediciones, y variaciones caóticas de diferente duración y posibilidad de percepción según la escala, y dependencia con otras características.

El conocimiento del *clima del pasado (paleoclimatología)* es más incierto a medida que se retrocede en el tiempo. Esta se basa en los registros de fósiles, sedimentos, marcas de los glaciares y burbujas ocluidas en hielos polares. Así, a partir de su estudio, se esta teniendo una visión cada vez más ajustada de los mecanismos reguladores del sistema climático, y permitirá establecer con mayor precisión lo que efectivamente es "*cambio climático*" o "*variabilidad climática*", entendida según sean causas antrópicas o naturales respectivamente.

El **suelo**, también muestra claramente características del clima durante su formación, y se manifiesta en el grado de desarrollo de los horizontes que lo integran, así como los procesos pedogenéticos que los caracterizan. Así por ejemplo es posible encontrar horizonte arcilloso (Bt) característico de clima húmedo, en clima actual semiárido-árido. Estos suelos se los denomina paleosuelos, o paleohorizontes, que se corresponden con un paleoclima. En la región del noroeste bonaerense, la existencia de un Bt se corresponde con condiciones climáticas húmedas. El horizonte Bt, es un horizonte de iluviación de arcilla, depositada en sus agregados en forma de barniz o también denominado *cutanes*. Este proceso se produce por translocación de partículas coloidales, arcilla, en suspensión en agua desde el horizonte superior A, denominado entonces eluvial. La alternancia entre períodos de sequía o humedad, caracterizan la formación de este tipo de horizonte.

Por último, se destaca el concepto de **Climosecuencia** en suelos, que expresa la secuencia o sucesión de un suelo cuyas características se vinculan al clima, así, diferentes características se corresponden con un clima diferente. Desde que un material original se deposita en un sitio, los factores formadores, clima, bióticos, y relieve, ejercerán mayor influencia en las

características del suelo tanto más cuanto mayor sea el tiempo transcurrido. Sin embargo, cuando las condiciones son de escasa humedad, o baja temperatura, los procesos son insuficientes o ausentes, y el suelo no evoluciona.

⇒ ANEXO A- 4

En esta parte del anexo A, se amplían temas relativos al punto 2.1.6 relativo a **Ecología y manejo de ecosistemas acuáticos pampeanos**.

Se incluyen los siguientes puntos: A-4.1 Clasificación hidrológica de ambientes lagunares (amplía 2.1.6.3. Tipología de lagunas); A-4.2 Características principales de las lagunas, clara, turbia y muy turbia (amplía 2.1.6.4 Características físico-químicas del agua); A-4.3 Colonización de especies acuáticas en la provincia de Buenos Aires (amplía 2.1.6.5 Características bióticas, y su relación con la físico-química del agua); A-4.4 Producción comercial acuícola en la Argentina; A-4.5 Aspectos socio-económico vinculados al recurso pesquero en la provincia de Buenos Aires, y especialmente en el noroeste bonaerense (amplía 2.1.6.6 Potencialidad productiva y económica de las lagunas).

A-4.1 Clasificación hidrológica de ambientes lagunares

En este punto, se presenta el significado de las categorías de la clasificación de ambientes lagunares dada por Dangavs (2005) para la región pampeana: *permanente*, *casi-permanente*, *semi-permanente*, *temporaria*, *efímera*, *periódica* y *pluvial*.

- *Permanente*: se aloja en cubetas profundas, se alimenta por cursos de agua y agua subterránea que puede tener acción efluente o influente, mantiene el espejo de agua todos los años, no se secan nunca (por ejemplo laguna de Cochicó, Epecuén donde se destacan manantiales).
- *Casi-permanente*: igual que la anterior pero en cubetas de menor profundidad y/o con abundante relleno sedimentario, pudiendo llegar a secarse (por ejemplo laguna de Guaminí, Alsina en el oeste bonaerense, y hacia el este, Chascomús, y Del Monte).
- *Semi-permanente*: en cubeta poco profunda y/o con abundante relleno sedimentario, alimentada por pequeños cursos de agua o agua libre subterránea efluente (reciben agua de la zona saturada del suelo), es más sensible al régimen pluvial, puede secarse algunos años (son la mayoría de las lagunas bonaerenses, por ejemplo lagunas Las Tunas-Hinojo, Gaviotas).
- *Temporaria*: son la mayoría de las lagunas pequeñas, en general sin nombre, que ocupan cubetas poco profundas, alimentadas por exceso pluvial, escorrentía no encauzada, con agua que no forma parte del agua freática, sino que se ubica en la zona no saturada y se suele denominar "*napa colgada*", y en algunos casos agua libre subterránea, en los casos en que la superficie freática se encuentra próxima a la superficie.
- *Efímera*: en depresiones, no tiene cubeta, en general el nivel lagunar no tiene que ver con la superficie freática, salvo a nivel capilar.
- *Periódicas*: natural o artificial, la primera es en cubeta de deflación recortada por un cauce fluvial, llenándose por desborde de un río en época de crecida, esta relacionada con un evento (por ejemplo laguna La Salada, Cuero de Zorro).
- *Pluvial*: se forma durante estado de grandes excesos hídrico e inundación, corresponden a este tipo más de 3,000 cubetas mayores a 10ha que actualmente funcionan como laguna, pero se secan durante sequía, es alimentada por lluvia directa, escorrentía superficial, y agua libre subterránea, manteniéndose por la elevación de la superficie freática.

Son de este último tipo gran cantidad de lagunas de la Pampa Arenosa, destacándose también La Salada de Pehuajó que se llenó en 1974 y persiste hasta ahora. Otro ejemplo de gran importancia es la Laguna la Picasa, en el sur de Santa Fe. Así para la década de los 1980 tenía una superficie de 500-600ha y llegó a tener una superficie de 60,000ha. Esta laguna en el

marco del Plan Federal de Control de Inundaciones para el Área Pampeana Central (construcción de 150km de canales que conectan bajos anegables bajos) se vincula con las localidades de Laboulaye y Melo en Córdoba, hasta las cercanías de la Estación Roseti en Santa Fe, y con lagunas de Buenos Aires, a través de uno de los canales principales que desembocan en el Río Salado.

A-4.2 Características principales de las lagunas, clara, turbia y muy turbia.

Se indica a continuación el significado de esta caracterización:

- La laguna “clara”, poseen una mayor transparencia del agua, una profundidad media de 1.8m (entre 1.1 y 3.4m), se ubica en zonas con menor intensidad de uso de la tierra en sus cuencas de influencia, generalmente son meso-eutróficas, y representa el estado de mayor similitud con el estado natural de las lagunas pampeanas en la zona de pastizales (previo a agricultura-ganadería). Este tipo de laguna está dominada por macrófita acuática altamente diversa (con excepción de lagunas muy salinas), y presenta una comunidad de peces más balanceada que el resto de lagunas; posee menos contenido de fósforo (<250mg/l), siendo dicha concentración el factor limitante de la producción acuática.
- La laguna “turbia”, hipertrófica, es producto de mayor uso de la tierra en sus cuencas de influencia, está dominada por fitoplancton, siendo la biomasa algal mucho mayor que en lagunas claras, y poseen una comunidades de peces dominadas por planctívoros. En relación con el contenido de fósforo no todas las lagunas turbias se diferencian de las claras, si bien todas las que poseen más de 250mg/l de fósforo son turbias. La proporción de cianobacterias en el fitoplancton se relaciona también con el ecosistema lagunar, y si bien esta proporción es alta en la mayoría de las lagunas pampeanas, aumenta desde las lagunas claras a las altamente turbias. Estas lagunas tienen una profundidad media de 2.6m (entre 0.7 y 7.3m),
- Una laguna “altamente turbia” constituye un estado avanzado de hipertrofización que se caracteriza por mayor concentración de nutrientes, baja relación nitrato/fósforo, una frecuente floración algal, alta abundancia de peces planctívoros y frecuente mortandad generalizada de peces. Entre los peces planctívoros, para el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*), ha sido experimentalmente probado que potencia el proceso de eutrofización (Boveri y Quirós, 2002). Estas lagunas tienen una profundidad media de 1.3m (entre 0.8 y 1.6m). Los autores concluyen que la mayoría de las grandes lagunas pampeanas se ubicarían en una situación trófica intermedia entre estos estados extremos de lagunas claras y turbias.

Asimismo, para el total de las grandes lagunas analizadas, tanto la biomasa del fitoplancton, como las del micro y macro-zooplancton, así como la biomasa de la comunidad de peces, están positiva y significativamente relacionadas con la concentración de nutrientes, y especialmente con el contenido de clorofila. En general a mayor contenido de nutrientes se desarrolla mayor biomasa de las diferentes comunidades bióticas. Específicamente la abundancia de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) y bagarito (*Parapimelodus valenciennesi*) se vincula con la concentración de fósforo y más aún se relaciona con un incremento en el contenido de clorofila, al igual que la proporción de cianobacterias en el fitoplancton. Según los autores, estos resultados mostrarían ciertos efectos indirectos en la interacción tróficas, más que una relación directa con el aumento de carga de nutrientes a las lagunas. El efecto del pejerrey pampeano (*planctívoro visual*) sobre el proceso de eutrofización ha sido ya ampliamente documentado. El bagarito (*planctívoro filtrador*) tiende a incrementar su presencia en agua con alta hipertroficidad y muy alta turbidez de origen biológico.

A-4.3 Colonización de especies acuáticas en la provincia de Buenos Aires

A continuación se presentan algunos antecedentes sobre la colonización de especies acuáticas, y formación de cuerpos de agua, en función de la ocurrencia de sequía-inundación:

Gómez y Menni (2004), como se comentó en punto 2.1.5, estos autores atribuyen al denominado cambio climático, así como a alteraciones topográficas y de transporte de fauna la presencia de peces en lagunas del noroeste bonaerense tradicionalmente sin peces. Actualmente, se conocen 10 especies de peces en los Bañados de La Amarga, otras 10 especies alrededor de General Villegas y cuatro especies en Trenque Lauquen. En los tres casos es agua dura y alcalina. Esta ictiofauna presenta un índice de similitud de Jaccard* de 44% con la de la cuenca del Salado (24 especies), y del 58% con las Lagunas Encadenadas del Oeste. En las Encadenadas del Oeste, ubicada al sur del presente estudio, la ictiofauna conocida aumentó de 7 a 18 especies en treinta años y tiene actualmente 75% de similitud con la Cuenca del Salado.

*Índice de similitud de Jaccard (Sj): es un procedimiento estadístico propuesto para medir el grado de similitud entre dos ecosistemas. $S_j = a / (a+b+c)$ (**a**= número de especies propias de la muestra a; **b**=número de especies propias de la muestra b. **c** = número de especies comunes entre las muestras a y b) (Sielfeld y Vargas, 1996).

Gómez *et al.* (2004) indican la formación de cuerpos de agua a 34° 58" S y 62° 58" W posterior a 1980 por un incremento en 30% de la precipitación. Durante el año 2000 diversos cuerpos de agua sin nombre de 20ha y 1.2m de profundidad, y otros pequeños canales fueron muestreados alrededor de Villegas y Trenque Lauquen. Estos cuerpos de agua no están en la antigua cartografía, y la vegetación acuática es aún poco desarrollada (*Scirpus sp* y *Myriophyllum sp*). Estos cuerpos de agua fueron colonizados por 10 especies de peces, que son frecuentes en las lagunas pampeanas. Algunos de los peces mencionados son reportados desde la laguna Hinojo (Trenque Lauquen), su presencia es atribuida a inundaciones del Río Quinto. La conductividad eléctrica de las aguas varió entre 1856 a 5930uS/cm, y el pH de 6.8 a 9.2, la temperatura media de 12° C en primavera a 30° C en verano. Se capturaron peces introducidos tales como *Cyprinus carpio*, y un alto número de especies autóctonas, que son las que normalmente viven en la Pampa Húmeda, al sur del área estudiada (Ringuelet, 1975 en Gómez *et al.*, 2004).

Bohn *et al.* (2004) describen la calidad físico-química-biológica de dos lagunas del sur de Buenos Aires. Indican que existe una variabilidad muy alta en salinidad así como en el nivel de agua, sin analizar su origen, esto último lo vinculan principalmente a la precipitación. Describen una eutrofización impresa, gran riqueza nutritiva asociada al desarrollo de *alga verde, verde-azulada* (alguna de tipo toxicogénico) y *diatomeas*. Recomiendan utilizar el agua de la laguna estudiada para riego complementario en agricultura y ganadero; sin embargo, los criterios que utilizan para su evaluación sustentable no son los aceptados actualmente para estos fines (Porta *et al.*, 1995).

Feijoo *et al.* (2004) estudian 41 arroyos de la provincia de Buenos Aires, los cuales son caracterizados con base en la química de su agua y comunidad de macrófitas. Estos investigadores encuentran que la variable de mayor incidencia en las macrófitas es la CE, concentración de Cl y HCO₃. Igualmente, Ruiz *et al.* (2004) estudian como las macrófitas emergentes (*Scirpus californicus*) y sumergidas (*Potamogeton pectinatus*) producen cambio en el plancton y en consecuencia en la variación de la dinámica de nutrientes, en condiciones de predación y sin predación de lagunas arreicas bonaerenses sobre el zooplancton, asociados a propiedades físico-químicas del agua.

A-4.4 Producción comercial acuícola en la Argentina

En este punto se analiza la producción acuícola en la Argentina, y dentro de esta, donde se ubica la región del noroeste bonaerense, y sus perspectivas futuras.

La producción comercial acuícola en la Argentina ha crecido marcadamente desde 1990, principalmente en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), que fue traída de USA y México, y representa el 75% de la producción acuícola argentina para el 2003, y les sigue en importancia el pacú (*Piaracatus mesopotamicus*). Asimismo se incorporan otras, camarón o langostino de agua dulce, rana (*Rana cataesbiana*), tilapia (*Oreochromis sp*), langosta australiana (*Cherax quadricarinatus*), moluscos bivalvos, mejillones (*Mytilus platensis* y *M. Chilensis*) y ostras cóncavas (*Crassostrea gigas*) (AACREA, 2003).

Luchini (2004) indica para Argentina cuatro cuencas geográficas principales para la producción acuícola:

- 1- Cuenca templada-calida y subtropical (Misiones, Corrientes y sur del NOA) con rana toro, pacú, tilapia, langosta de agua dulce
- 2- Cuenca templada-fría y cordillerana (cordillera, patagonia y serranías) apta para especies de salmónidos como trucha y salmón
- 3- *Cuenca templada-continental* (pampa húmeda y alrededores) sus características climáticas son más restringidas, apta para especies como pejerrey, catfish randiá sudamericano, esturión, y en algunos casos trucha arco iris, amur o salmón siberiano y en determinados casos especiales, langosta pinzas rojas; además, especies ornamentales y ranas (en proyectos que incluyan calefacción estacional o total), destacando que los emprendimientos en esta cuenca y según los casos, serán comercial, consumo, ornamento o actividad deportiva; y
- 4- Cuenca templada a templada-fría: (costa marítima) apta para peces marinos, salmónidos en fase marina, moluscos bivalvos (mejillones, ostras, almejas), algas marinas y otras especies exóticas.

La región del noroeste bonaerense, se ubica en la cuenca 3, y tal como se aprecia en las estadísticas del país, la producción resulta escasa a nivel nacional, teniendo sólo importancia local, no habiendo desarrollado el potencial previsto por Mastrarrigo (1974).

Luchini (2004) realiza un análisis pormenorizado sobre las perspectivas en acuicultura a nivel mundial, regional (América Latina, especialmente cono sur), y local (Argentina), indicando las problemáticas que debe enfrentar el sector a fin de revertir la tendencia, que aunque creciente, se encuentra muy por debajo de la potencialidad regional, especialmente en la Argentina. Este autor, hace hincapié en las ventajas económicas y sociales que estas actividades tienen en esquemas nacional, provincial, e incluso a nivel productor. Así, remarca que en conjunto, la producción por acuicultura ha demostrado su capacidad para proporcionar grandes beneficios sociales y económicos para los países de América Latina en general, y de la región en particular, que se manifiestan en ingreso de divisas, incremento de empleo, reducción de migración rural, alivio a la pobreza y mejoramiento de la seguridad alimentaria.

En esta última publicación, se indica además, la rapidez con que esta actividad puede desarrollarse, destacando por ejemplo, el desarrollo en menos de 10 años en el Estado de Santa Catalina, Brasil, la producción mejillonera y ostrera, con una producción de 15,000ton, se constituyó en la principal fuente de recursos del sitio, evitó la migración de la población hacia centros poblados, y promovió asentamiento de población (cada productor cultiva hasta 1,000m²). Se destaca que Luchini (2004) indica entre otras causas, una ausencia de investigación, y conocimiento de técnicas productivas para la mayor parte de las especies acuícola, como determinante del escaso desarrollo de la acuicultura en América Latina en general, y de la Argentina en particular.

A-4.5 Aspectos socio-económico vinculados al recurso pesquero en la provincia de Buenos Aires, y especialmente en el noroeste bonaerense,

En este apartado del Anexo A, se describen: Aspectos socio-económicos y rendimiento pesquero; Procedimientos de evaluación de recursos pesqueros, y Recomendaciones sobre el manejo de las lagunas.

Aspectos socio-económicos y rendimiento pesquero

En los aspectos socio-económicos se destaca que el uso clave del recurso pesquero es: *i)- pesca recreativa/deportiva* (especialmente pejerrey); *ii)- pesca comercial* (limitado a la Bahía de Samborombón, en el océano Atlántico, y a pocas lagunas en la Pampa Arenosa); *iii)- pesca artesanal de subsistencia* (consumo, carnada, ornamental).

La *pesca deportiva* actualmente es la más importante de esta actividad, con más de 500 clubes y 1.5 millones de pescadores en la provincia de Buenos Aires. Importantes lagunas de pesca se ubican en toda la cuenca pero la mayor concentración se da en el Salado Inferior (Encadenadas del Este) y, en menor medida, en las Encadenadas del Oeste. Las principales lagunas de pesca en la región del presente estudio son las indicadas en Figura 2.18.

Si bien, la pesca deportiva comprende varias especies, en ambiente lagunar, únicamente la captura de pejerrey se encuentra regulada (Ley Provincial de Pesca y disposiciones emanadas del Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires). Para esta especie rige un período de veda entre el 1/9 al 30/11 de cada año, permitiéndose la pesca únicamente los fines de semana y feriados. La talla mínima de captura permitida es 0.25m (longitud total). Igualmente, en la mayoría de las lagunas rige una cuota de captura máxima por pescador entre 15-25 piezas diarias, según la laguna. La pesca de peces ornamentales y la de carnada viva aún no está apropiadamente controlada (Guía de Lagunas y Pesqueros, 2007).

El potencial pesquero de las lagunas pampeanas es elevado, algunas estimaciones puntuales han llevado a considerar un rendimiento promedio entre 60 y 160kg/ha/año (PMI, 1999), y que la producción total de lagunas pampeanas es de 200,000 a 300,000ton/año, siendo aproximadamente 100,000ton/año lo producido a partir de lagunas fiscales (propiedad del estado), y el resto de propiedad privada. Se dan también rendimientos mucho mayores en la provincia de Buenos Aires, así para las Encadenadas del Oeste, López *et al.* (2001) han estimado biomásas de hasta 200kg/ha/año, y en la laguna de Lobos, Freyre (1976) ha calculado una producción de 746kg/ha/año (PMI, 1999). Agrodiario (2007) indica valores hasta de 250kg/ha/año para lagunas del noroeste bonaerense.

Quirós (1988) ha estimado que el rendimiento pesquero de cuerpos de agua mayores a 5km² en la región pampeana asciende a 18,000ton/año; sin embargo, con base en datos de pesquerías recreativas y deportivas se estima una extracción de 40,000tn/año si se considera un rendimiento promedio de 120kg/ha.

En el PMI (1999), se informa para el complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas, único ambiente lagunar donde está autorizada la pesca comercial, entre marzo y agosto se obtuvieron rendimientos de 80,300kg, por lo cual apenas alcanzó a 3kg/ha/año (beneficio económico de US\$91,000), valor muy inferior a los 120kg/ha (beneficio económico de US\$204.000) que se estima produce una laguna con buen rendimiento. Se considera que si la pesquería del complejo Hinojo-Las Tunas operara para obtener un rendimiento máximo sostenible de 120kg/ha, lo que es equivalente a una cosecha anual de 2,640ton, se generaría una ganancia potencial de US\$2'999,200, y ello representaría un beneficio de US\$136/ha. Bajo un criterio precautorio y conservativo de 25%, esta cosecha se reduciría a 660ton lo que daría US\$748,000 anuales o bien US\$34/ha. En esa oportunidad, el complejo Lagunar, tenía una superficie de 22,000ha.

Se destaca la importante *generación de empleo* que esto produciría. Así, si se considera que cada pescador puede manejaría 12 redes enmalladoras, las cooperativas necesitarían emplear a 264 pescadores, si la meta es obtener un rendimiento de 120kg/ha/año. Ello representaría una ganancia neta de US\$11,360 por pescador, lo cual implica un ingreso familiar mensual de US\$946, repartidos en un año. Alternativamente, se plantea que podría ser adecuado efectuar *siembra de peces*, que en el caso del pejerrey, posean un tamaño tal que al año puedan ser cosechados e introducidos en el mercado de consumo. Esto requiere de una inversión de US\$88/ha, siendo el beneficio neto de US\$48/ha, valor significativo en la medida en que pueda desarrollarse un plan de siembra general en varios ambientes (PMI, 1999).

Existen en la actualidad en el ámbito de la provincia de Buenos Aires, siete Estaciones de Piscicultura de Pejerrey, y una Estación Hidrobiológica en Chascomús (EHCH). Esta última, ubicada en la Cuenca del Río Salado, y fundada en 1942, desarrolla la reproducción y mejoramiento de la piscicultura del pejerrey de diferente origen (Salada Grande, Chasicó, y Gómez, entre otras) contando actualmente con 41 tanques de cultivo para el mantenimiento de reproductores, y cría intensiva de juveniles. A partir del 2005, se cuenta con 800 reproductores seleccionados que posibilita evitar la captura de ejemplares silvestres, y alcanzar el autoabastecimiento por la producción intensiva de 10 millones de huevos con 75% de fertilidad por temporada que proveen además de huevos fecundados a las otras estaciones productoras. Las estaciones ubicadas en sectores del oeste bonaerense son dos, en el partido de Guaminí, laguna de Cochicó, y en el partido de Junín, Laguna El Carpincho (Guía de Lagunas y Pesqueros, 2007; y MAA, 2007a).

Asimismo, el PMI (1999) analiza ambientes piloto que fueron representativos de pesquerías con característica típica situados en diferentes zonas de la Cuenca del Río Salado, e indica que el movimiento de dinero generado por algunas pesquerías es ciertamente muy importante. Así, por ejemplo, diversos autores citados en PMI (1999) indican que los beneficios que podrían obtenerse en una laguna podrían variar entre US\$500,000 y US\$850,000 anuales, en función de la distancia al centro de consumo. Destaca lo indicado por Grosman *et al.* (1996 en PMI, 1999); quienes indican que el beneficio expresado por unidad de superficie (ha) muestra ser superior al que arrojan los aprovechamientos agropecuarios.

En la pesca comercial, el beneficio económico sobre la comunidad de pescadores es fundamentalmente de tipo directo, particularmente si los pescadores provienen de centros urbanos próximos a la laguna, como sería el caso de los pescadores que viven en Beruti o Trenque Lauquen respecto al complejo Lagunar El Hinojo-Las Tunas.

En una publicación de carácter periódica (Agrodiario, 2007) se presentan ventajas que para los productores de la pradera pampeana argentina, tendría incorporar la producción de pejerrey, a los esquemas tradicionales productivos de la región. Así, se indica por ejemplo, para una laguna del sur santafesino o noroeste bonaerense, cual podría ser el beneficio si se tuviera: una superficie de laguna de 200ha, rendimiento piscícola promedio de 100kg/ha/ciclo; con un precio por kilogramo de pejerrey entero pagado al productor de aproximadamente US\$1, lo que da ingreso bruto de US\$16,700, siendo los costos de aproximadamente US\$6,700 (beneficio neto de US\$30,000) los cuales disminuyen al cabo de tres años al suprimirse el costo de semilla y siembra, aumentando la rentabilidad en un 10-15%. Se destaca que se indican rendimientos en carne de pejerrey que puede variar entre 70-250kg/ha/año, según la laguna.

En el caso de la **pesca recreativa/deportiva** existe un impacto económico directo e indirecto, dado por la creación de fuentes laborales ligadas en grado diverso con la actividad y demanda del usuario del recurso. La pesca recreativa por ser también un esparcimiento, está ligada a actividades complementarias que generan consumo de bienes y demanda de servicios.

Si se *comparan ambos tipos de actividad*, comercial y recreativa, podría establecerse que el impacto económico de la pesca comercial es muy inferior al de la pesca recreativa en ambientes con buena infraestructura. Sin embargo, ello se equipararía en las lagunas con infraestructura muy básica o ausente, ubicadas en localidades de baja densidad poblacional, como podría ser incluso Hinojo-Las Tunas. De todos modos, la eficiencia de la pesquería comercial depende mucho también de la composición específica existente. El Hinojo-Las Tunas posee una baja diversidad específica que no existe en los ambientes de la baja Cuenca del Salado, lo que reduce el costo de extracción. Esta dependencia sería menor en el caso de la pesca recreativa, ya que los pescadores toleran obtener otras especies que no sea pejerrey, y por otra parte, encuentran placer incluso si la pesca es escasa, debido a que el sitio de pesca ofrece condiciones que producen bienestar personal .

El informe elaborado por el PMI (1999) concluye que, con excepción de aquellos ambientes de gran superficie, con baja diversidad de especies y que resultan escasamente concurridas debido a su ubicación, acceso, o ausencia de comodidades, la pesca recreativa debería ser priorizada en el contexto del Plan Maestro. Actualmente, la pesca comercial, incipientemente desarrollada en la zona oeste, podría expandirse a otras lagunas de esta región y la zona noroeste de la cuenca, a condición que la misma posea un carácter cooperativo y sus beneficios alcance un sector significativo de las poblaciones cercanas a estos ambientes. Sin embargo, por lo indicado en AACREA, 2003; Luchini (2004), Agrodiario (2007), son sobradas las ventajas de implementación de estas actividades acuícola en la pradera pampeana argentina.

Otra de las lagunas estudiadas en el PMI (1999) por ser representativa del sistema de las Encadenadas del Oeste, es la de Cochicó, la cual posee excelente calidad de pesca, pero su distancia a la capital le resta pescadores fuera de la época de pesca del pejerrey, y del verano. Se estima que genera un beneficio de US\$88/ha, teniendo además una gran importancia, por la gran concurrencia que posee, anualmente ingresan al agua 8,784 personas en 2,928 embarcaciones, siendo la densidad de pescadores de 2.2/ha.

Procedimientos de evaluación de recursos pesqueros.

Se indican los siguientes: *i)* indicadores limnológicos (nutrientes, clorofila, contenido de materia orgánica, salinidad, nivel hidrométrico, etc.); *ii)* indicadores ecológicos (composición del zooplancton); *iii)* indicadores de diversidad específica y riqueza de especies; *iv)* índices del estado poblacional (índices de condición e índices de estructura de tallas); y *v)* parámetros poblacionales (mortalidad).

Recomendaciones sobre el manejo de las lagunas

En PMI (1999) se indica la importancia que tienen las lagunas, humedales, y ambientes en general, en el equilibrio ecológico, económico y social de la provincia de Buenos Aires, destacando la necesidad de que algunas de éstas sean manejadas ecológicamente como áreas protegidas. Entre estas destacan:

- ⇒ laguna *La Salada en Pehuajó*, ya que debido a la naturaleza arenosa del suelo brinda un ambiente muy diferente al resto de lagunas de la cuenca inferior
- ⇒ complejo *El Hinojo-Las Tunas*, en Trenque Lauquen, se destaca, que en virtud de las obras de atenuación de inundaciones efectuadas en las mismas, podría estar en conflicto con intereses de actividades recreativas y pesca comercial, por lo que resulta importante mantener profundidad mínima del agua.
- ⇒ laguna *Mar Chiquita* en Junín,
- ⇒ *humedales temporales y permanentes* asociados a lagunas, donde con frecuencia tienen importancia para la flora y fauna especializada, por ejemplo, los anfibios pueden desarrollarse en estos ambientes donde no hay peces.

El informe del PMI (1999) advierte sobre posibles consecuencias de las obras implementadas y en ejecución en la región de la construcción de obras estructurales. Así, podría afectar la recarga de agua al subsuelo, a la flora y fauna asociada a humedales y lagunas. Así mismo, un drenaje superficial del agua y mejora agrícola asociada, podrían incrementar la carga de sales y nutrientes hacia la cuenca inferior. En resumen, la principal inquietud planteada por el PMI (1999) en relación con este territorio sería la que tiene que ver con la pérdida del ambiente natural, semi-natural y el mantenimiento de corredores de humedales, especialmente a lo largo del Río Salado Superior que se constituyen además, en una importante ruta de migración de aves.

Entre los aspectos que *restringen la producción económica* pesquera el PMI (1999) destaca: *i)* ausencia de una estrategia apropiada o de un marco institucional para su manejo, lo que representa una seria amenaza para su conservación y explotación sustentable, *ii)* calidad y cantidad de peces muy variable, debido a estar fuertemente relacionadas con el ciclo de inundaciones (luego de inundaciones aumenta las poblaciones de peces, si bien esta relación, abundancia en la captura y precipitación, fue encontrada en muchas subcuencas, exhibe un desfase de uno a tres años); *iii)* el manejo de la pesquería de la cuenca no ha logrado integrar a sus requerimientos con el manejo de otros recursos de la cuenca; *iv)* el sistema actual es reactivo a problemas o emergencias, y existe poco planeamiento integrado, y programado; *v)* existencia de pocos profesionales y personal capacitado en la actividad; *vi)* escasa información científica, y *vii)* no se han realizado consultas suficientes para manejar los usos conflictivos del recurso pesquero.

Por lo expuesto, se indica que es necesario:

- desarrollar e implementar acuerdos regulatorios y organizacionales apropiados para el manejo de pesquerías.
 - investigar sobre la actividad pesquera para elaborar lineamientos de manejo, sustentable y eficiente, partiendo de comprender como interactúan los siguiente factores: procesos naturales, ciclo hidrológico, geomorfología, ecología, producción agropecuaria, incluyendo el uso de fertilizantes y pesticidas; aspectos sociales-culturales del uso de la tierra y manejo de la cuenca.
 - identificar características ecológicas claves relacionadas con el mantenimiento sustentable de especies de interés comercial y deportivo; ecosistemas o hábitat de alto valor ecológico para mantenimiento de la diversidad y conservación de componentes críticos de la ictiofauna; y potenciales proyectos para el desarrollo de recursos pesqueros por alteraciones hidrológicas derivadas de implementar las alternativas del proyecto del PMI (1999).
 - realizar un ordenamiento regional de los ambientes en función a su uso potencial (pesca deportiva, comercial, artesanal, de explotación semi-intensiva, reservas de biodiversidad, etc.) para establecer las posibilidades de aprovechamiento y manejo.
 - implementar proyectos piloto de manejo de pesquerías en lugares clave de la cuenca.
 - evaluar a nivel regional y local, la importancia socioeconómica actual o potencial de diferente uso del recurso pesquero para poder valorar su preservación.
-

⇒ ANEXO A-5

En este apartado del Anexo A, se amplían temas relativos al punto 2.1.7 sobre **Características socio-económicas del noroeste bonaerense**

Se incluyen los siguientes puntos: A-5.1 Definiciones de términos A-5.2. Variabilidad en los rendimientos por clima, suelo y manejo; (amplían 2.1.7.1 actividades productivas); A-5.3 Características de las empresas agropecuarias, resultados económicos (amplía 2.1.7.2. estructura y organización de empresas agropecuarias); y A-5.4 Limitaciones para el desarrollo regional

A-5.1 Definiciones de términos utilizados en punto 2.1.7.1

En este punto, se explican términos de uso frecuente en la producción agropecuaria argentina.

Invernada: es el nombre genérico que se da a la actividad ganadera de base pastoril cuya finalidad es lograr el desarrollo adecuado de distintas categorías bovinas llevándolas a condiciones óptimas de faena. En función de la raza, tipo y edad del animal a engordar varía el tiempo de duración. Por ejemplo, novillo de raza británica entra con 180kg y finaliza su engorde a los 12 meses con 400kg de peso (en el noroeste, prevalece la raza Aberdeen Angus).

Cría: producción de terneros hasta aproximadamente 180kg de peso, cuyo destino es la invernada, para la terminación de novillos de 400-460kg.

Recría: los terneros de 180kg provenientes de la cría se engordan hasta aproximadamente 300kg, estos se envían a la invernada, o se terminan como “novillitos”.

Siembra directa: sistema de producción conservacionista agrícola que consiste en la siembra de un cultivo sobre el rastrojo del cultivo anterior sin efectuar laboreos del terreno, y con control químico de malezas.

Empaste (timpanismo o meteorismo espumoso): es una alteración digestiva caracterizada por una hinchazón de la cavidad abdominal debido a la producción de gases, dióxido y metano, producido por la fermentación del alimento. Esto depende de la combinación de múltiples factores referidos a la pastura, el animal que en ella pastorea, al suelo, al clima y al manejo. Por ejemplo, pastura de alfalfa, y suelo rico en nitrógeno predisponen a esta enfermedad, provoca desde disminución de producción hasta muerte del animal).

A-5.2. Variabilidad en los rendimientos por clima, suelo y manejo

En este punto, se presentan las variables ambientales y de manejo que afectan los rendimientos dados en punto 2.1.7.1.

Los rendimientos presentan una gran variabilidad en la región del noroeste, ya que dependen de la presencia oportuna de precipitación, y de un manejo que favorezca su aprovechamiento. Esto se debe al tipo de suelo y la producción, denominada en la Argentina de secano y en México como de temporal (sin riego). En estos ambientes y sistemas de producción, la cantidad de agua asequible depende, entre otras, de la posición del suelo respecto del sistema de flujo de agua subterránea (de estar el suelo en una zona de recarga o de descarga) y de propiedades del suelo como textura, espesor y contenido de materia orgánica, por lo cual, a fin de reducir la inestabilidad climática deben ajustarse las prácticas de manejo de suelo y cultivo a fin a aumentar la capacidad de captación y almacenaje de agua.

Lo indicado, no sólo contribuye a mejorar la oferta hídrica sino también disminuir la erosión. Por ejemplo, un suelo, *Hapludol* y *Haplustol*, con perfil típico A-AC-C, con textura franco arenosa (contenido de arena entre 50-70%) y materia orgánica entre 1.8 y 2.5%, la capacidad de retención hídrica será inferior a 100 mm/m. Así, en el PMI (1999) se estima, que en suelos con capacidad de retención entre 50-200mm de agua útil, se produce el siguiente déficit de humedad: maíz 104mm, girasol 49mm, soya 76mm, y trigo 47mm de agua, siendo sólo la soya de segunda, el único que no presentan déficit hídrico.

A modo de ejemplo, se comentan como el *rendimiento de soya* es afectado además del suelo, en función del clima, y modelo de producción implementado.

Baigorri (2004) indica que el rendimiento de soya en el oeste bonaerense, se modifica por el tipo de suelo, y dentro de éste, por su capacidad de uso (Tabla 2.4 en punto 2.1.3.1) y manejo. El mejor rendimiento se obtiene en suelos con moderadas limitaciones, tales como IIw, IIws, y IIIes; donde la restricción es el agua presente para el cultivo, erosión, si es que ambas limitantes son consideradas en su manejo; siendo menores los rendimientos en suelo con mayores restricciones, tal como IIIws, que presenta restricciones en su normal aireación tal como sucede al reducirse el espesor explorable por las raíces en presencia de alguna capa

endurecida o compactada. Así por ejemplo, se indican rendimientos que varían entre 1,500 a 3,500kg/ha para 0.5 y 2.0m de profundidad efectiva (profundidad explorada por la raíz del cultivo), si por ejemplo este suelo se llegara a compactar por el paso continuo de maquinaria el rendimiento disminuye a 500 y 3,000kg/ha, respectivamente. En promedio, este autor, considera que para un suelo de 1m de profundidad la soya rinde 2,500kg/ha, sin compactar y 2,000kg/ha, compactado.

En relación con el **modelo de producción**, Baigorri (2004), indica que si bien existe diferencia en el contenido hídrico del suelo del que depende el cultivo y es independiente del tipo de labranza, el manejo del cultivo define su rendimiento. Así por ejemplo, si no hay infiltración de agua de lluvia durante el periodo sin cultivo del suelo (entre un cultivo y otro, periodo denominado barbecho), el agua asequible para el cultivo estará condicionada por el cultivo que lo antecede. Los cultivos que normalmente anteceden en la rotación a la soya son: maíz y soya, verdeo de invierno, y en menor medida pastura. Asimismo, la cantidad de residuo remanente al momento de la siembra determina directamente el almacenaje de agua, siendo necesario superar el 60% de cobertura del suelo ó 5ton/ha de biomasa seca.

La *presencia de precipitación*, para el caso de la soya, resulta crítica durante el llenado de los granos. El más bajo rendimiento se produce si el déficit hídrico se tiene entre febrero y marzo, siendo el rendimiento menor mientras más tardío es el llenado de granos. Si el déficit hídrico es temprano, diciembre-enero, la forma en que el rendimiento es afectado depende de la fecha de siembra, y ciclo del cultivo. Así, afecta en mayor magnitud el rendimiento en siembra temprana (octubre), y menos, con posibilidad incluso de obtener alto rendimiento, en cultivos de ciclo medio a largo y siembra de fin de noviembre.

En general se establece que la siembra posterior al 15 de diciembre presenta menor rendimiento que la de noviembre, pudiendo ser superior a los 30kg/ha por cada día de atraso de la fecha de siembra y hasta 50kg/ha, cuando se combina el factor de déficit hídrico con heladas tempranas que afectan el llenado de los granos (Baigorri, 2004).

En síntesis, con déficit hídrico intenso en enero y febrero, se indica en soya: máximo rendimiento en siembra de inicio de octubre con cultivo de ciclo corto; mínimos rendimientos en siembra de fin de octubre y principio de noviembre, y nivel intermedio con ciclo medio a largo en siembra de inicio de diciembre. Esto puede verse profundamente modificado, si existe superficie freática cercana pero que no limite la normal aireación de la raíz y el ascenso capilar desde la misma alcanzando la zona de exploración radicular, ya que el cultivo se independiza de la precipitación y puede alcanzar alto rendimiento cuando otros factores no son limitantes. Aquí la definición de las condiciones de las componentes del sistema de flujo de agua subterránea presente (zona de recarga o descarga, sistema local o intermedio) se torna fundamental.

Igualmente, Diaz-Zorita (2000) encuentra una estrecha relación entre incremento de rendimiento en granos y en el aceite contenido en girasol, con fertilización lo cual es asociado con el contenido de agua del perfil, textura, y manejo. Así, para la región se señalan diferencias de hasta 100mm. de agua edáfica a la siembra de girasol según el cultivo antecesor (con maíz 270mm, pastura secada tardíamente 187mm.; verdeo de invierno 214mm.).

A-5.3 Características de las empresas agropecuarias, resultados económicos

En este apartado se amplían aspectos tratados en el punto 2.1.7.2 sobre la estructura y organización de empresas agropecuarias. Se describe la incidencia de las dimensiones de dichas empresas agropecuarias y del arrendamiento de campos en el resultado económico y ambiental, y se presentan márgenes brutos de los cultivos.

Respecto a las dimensiones de las empresas agropecuarias, y su viabilidad productiva, en el informe elaborado por la Municipalidad de Pehuajó y Agencia de Extensión INTA Pehuajó (MP-INTA, 2005) indican que 43.2% del total de la superficie agraria de Pehuajó, es ocupada por establecimientos de mediana y gran superficie (500 a 10,000ha, 188 establecimientos que representan 9% del total). Establecimientos de más de 500ha, combinan actividades complementarias de agricultura y ganadería, y las fluctuaciones en el rendimiento es compensada variando la participación de cada uno de los rubros. Este grupo de establecimiento, es el que tiene mayor rentabilidad y ritmo de capitalización, ya que invierte en tecnología reduciendo costos y aumentando la productividad. Asimismo, tiene mayor acceso al crédito y posibilidad de integrarse a procesos con mayor valor agregado.

Por el contrario, el establecimiento de menos de 100ha, en los que sólo pueden realizarse actividades como invernada con mucha inversión de capital, tambo, agricultura, apicultura o cría de cerdos, ocupa el 12.2% del total de la superficie que suman 956 establecimientos, el 46% del total de establecimientos. Sin embargo, estos inciden débilmente en el PBI agropecuario, en su mayoría sobreviven, con escasos recursos, mano de obra familiar, con imposibilidad de capacitación y evolución, escasamente trabajan el campo, sino que lo rentan. El empobrecimiento de este sector, requiere del apoyo del estado, de una acción asociativa y participativa, que les permita acceder a la unidad económica básica (MP-INTA, 2005) que se establece en para la región ZAE4 en 400ha (Rosas, comunicación personal).

Los establecimientos entre 100 y 500ha, ocupan el 44.6% de la superficie agraria del partido, y realizan agricultura o tambo, si bien pueden realizar también ganadería con baja inversión (denominada extensiva). Son en total 928 establecimientos, y reúnen el 45% del total de establecimientos del partido, se caracterizan por obtener beneficio promedio inferior a la media de las empresas agropecuarias debiendo tener una fuerte participación familiar, requieren de una reorganización, intensa capitalización, asistencia en la comercialización y en el crédito. Esto significa compromiso del estado, pero fundamentalmente voluntad y disposición del productor.

Esta situación descrita en detalle para Pehuajó (MP-INTA, 2005), es coincidente con la problemática general planteada no sólo para toda la región del noroeste, sino también para toda la región que el RIAP (2007) agrupa bajo la denominación de Región Buenos Aires Norte, que incluye todos los partidos del noroeste, norte y noreste de la provincia de Buenos Aires. Para toda esta región, se indica la existencia de marcados problemas de equidad social, que se reflejan en el alto número de pobladores (15%) con necesidades básicas insatisfechas, la migración de población rural por falta de oportunidad de empleo y escasez de servicios, la distribución desigual del ingreso y la desaparición de las empresas de menor escala. Por otra parte, alguna de la tecnología incorporada en la década 1990, disminuyó marcadamente la necesidad de mano de obra, y consecuentemente, creo un fuerte desempleo. Este proceso de "modernización" y aumento acelerado de la producción que se produjo entre 1988 y 2002 hizo desaparecer el 34% de las empresas agropecuarias de la región, particularmente en el estrato de empresas menores a 100ha y en las zonas agrícolas, simultáneamente la superficie media necesaria para vivir de una familia, se incrementó de 250 a 370 ha.

Asimismo, se ha producido en la región un cambio en la actividad agrícola-ganadera en función de las circunstancias climáticas y económicas que se presentaban como favorables. Así, por ejemplo 1996, se caracteriza por la implementación del monocultivo de trigo en muchos sitios tradicionalmente ganaderos, lo que condujo a una *liquidación de planteles ganaderos*, luego con las inundaciones se retrotrae esta tendencia aunque con gran dificultad por la descapitalización ocurrida y falta de apoyo crediticio. El precio de los granos, y el desarrollo tecnológico, tal como la soya transgénica determinan, en parte, la actividad a realizar, así (MP-INTA, 2005; RIAP, 2007) si bien la adopción de tecnologías tanto de procesos productivos como de insumos resultó en una tendencia creciente del rendimiento de los cultivos, los mismos se encuentran

por debajo de su potencialidad, presentando además una gran variabilidad interanual, como consecuencia de regímenes climáticos de humedad de alta variabilidad. Se destaca además, el serio riesgo que implica en la conservación del suelo, la tendencia en los últimos años al monocultivo de soya.

Dentro de este contexto el mayor desafío para el sistema agrícola consiste en lograr una producción rentable y sustentable, y calidad diferenciada por su inocuidad para la salud humana. La productividad ganadera media se encuentra también, significativamente por debajo de lo alcanzable aplicando la tecnología asequible. El valor de productividad más frecuente alcanza 180, 250 y 320kg/ha/año para cría, ciclo completo e invernada, respectivamente, valores factibles de incrementar, respondiendo a los requerimientos del mercado por diferenciación de producto, calidad e inocuidad.

Otro aspecto socio-económico importante de toda la región norte que se analiza en el RIAP (2007) es que una alta proporción de la producción, cercana al 50%, se realiza en campos rentados por período anual involucrando una o dos cosechas. Lo difundido de esta modalidad contractual tiende a crear un referente poco apropiado para la conservación del suelo y ambiente, así como para las familias que viven en estos esquemas productivos al carecer de estabilidad en su labor y en su ingreso. A lo que se adiciona el que no necesariamente exista una política de mejora de la tierra rentada por el arrendador.

Márgenes brutos de cultivos

La variabilidad en el rendimiento, precio del producto y costo de producción también resulta en una marcada variabilidad de los márgenes brutos (MB). Castro (2004) analiza los MB de los cultivos principales de la región en estudio, para el periodo comprendido entre 1996/97 hasta 2003/04. En el cultivo de maíz, los MB tuvo un valor máximo de US \$400 (1996/97) y un mínimo de US \$180 para el año 2000/01. Para este último año, Alconada (inédito) obtiene iguales MB para maíz en la región del noroeste bonaerense, y para el 2004, de US \$369.

El cultivo de soya entre 1996/97 y 2003/04 los MB variaron entre US \$550 máximo para 1996/97 y mínimo de US \$200 para los años 1998/99, 99/00 y 00/01 (Castro, 2004). Los MB regionales para el año 2004 fueron de US \$276 (Alconada, inédito).

Para el trigo, en el periodo entre 1996/97 hasta 2003/04 se dan MB máximo de US \$210 para 1996/97 y mínimo de US \$100 para 2000/01 (Castro, 2004), tal como se obtuvo en el 2004 (Alconada, inédito).

Para el periodo analizado, Castro (2004) indica entonces, que el mejor resultado para maíz y soya fue para 1996/97, coincidiendo con el mejor precio de cosecha, luego los márgenes fueron reduciéndose hasta alcanzar un mínimo en el año 2000/01, y para nuevamente mejorar a partir del 2001/02, por mejores precios internacionales.

En el informe fiscal del Ministerio de Economía y Producción de la Nación Argentina (MEP, 2004), para la región oeste bonaerense, para el período 1998/2003 se indica para girasol con rendimiento de 1,880 kg/ha un MB de US \$198, y para rendimiento de 20.3, los MB varían entre US \$215-263; y para el cultivo de soya, con un rendimiento de 2,800 kg/ha los MB son de US \$270, y calculado con rendimiento promedio de 2,50 0kg/ha dado para la zona oeste bonaerense los MB medios son de US \$232.

Los MB presentados, son promedio regionales, sin embargo, estos presentan a su vez una variabilidad importante dentro de la región, a modo de ejemplo, se presentan MB realizados para el año 2000/01 en un establecimiento de Trenque Lauquen, donde se aprecia que los

mismos, resultan incluso más bajos que los indicados en promedio para la región: girasol US \$78, soya de primera US \$115, soya de segunda US \$80, trigo US \$67, y maíz US \$179.

A-5.4 Limitaciones para el desarrollo regional

En este apartado, se amplía lo presentado en punto 2.1.7.4 sobre **Potencialidades y limitaciones al desarrollo regional**. Así se presentan restricciones jurídico-administrativas, institucionales, físicas, y culturales para el desarrollo regional, de la ganadería, agricultura, forestación y silvopastoreo.

Se agregan a lo indicado en punto 2.1.7.4, las diversas carencias y dificultades de índole **jurídico-administrativa** que complican y condicionan las acciones tendientes a mejorar el área desde una perspectiva de aspectos sociales y económicos. Así, entre las **restricciones institucionales** se destaca: centralización de instituciones; carencia de coordinación entre los organismos públicos, y de estos con el sector privado; falta de recursos financieros, personal profesional y medios físicos; una administración y mecanismos no sustentables; ausencia de mantenimiento y control; legislación inadecuada y falta de cumplimiento de la ley vinculado entre otros factores a esquemas de corrupción fuertemente arraigados en la administración gubernamental y privada.

Estas restricciones sumadas a las *restricciones físicas* (clima, avenamiento, calidad de suelos y de agua subterránea, ríos y sistemas de drenaje sin control) han conducido a que el sector agropecuario enfrente serias *dificultades ambientales y económicas*. Se destaca la degradación del suelo y deterioro de la calidad del agua, ausencia de medidas conservacionistas, manejo inadecuado que se manifiesta en diferente grado de erosión y salinización del suelo (entre moderada a muy grave), enmalezamiento, superficie subanegada, anegada e inundada (SAGyP y CFA, 1995; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2003), y en una marcada eutrofización del agua (Quirós *et al.*, 2002).

Asimismo, se produjo *alto endeudamiento* de las unidades productivas, las cuales además, en número importante, presentan superficie menor a la *unidad económica (superficie mínima necesaria para el sustento de una familia en una región y actividad dada)*, entre otros factores. Esto señala la necesidad de desarrollar la investigación y transferencia de tecnología (extensión agropecuaria), a fin de alcanzar el valor potencial del suelo y el incremento de su productividad (PMI 1999). Tal como se indicó, el endeudamiento y las restricciones para establecimientos menores a 500ha son importantes, así como las consecuencias, del cambio de actividad productiva a fin de compensar bajos rendimientos, tal como sucedió con la agriculturización marcada de 1996 (MP-INTA, 2005).

En este contexto, la *actividad ganadera*, ha tenido una *presión financiera* importante en los productores de pequeñas superficies, que han tenido que vender ganado frente a las sucesivas inundaciones, o rentado sus tierras y con frecuencia, al no poder reconstituir el plantel de animales llegaron a mal vender sus propiedades.

Por su parte, la *actividad agrícola*, debe ser realizada generalmente contratando el servicio de maquinaria; así, la tecnología relacionada con el manejo es realizada por los denominados en el sector como “contratistas” (dueño de la maquinaria), por lo cual se aumenta el costo ya que no se dispone de maquinaria en el momento apropiado conduciendo a caída del rendimiento.

En relación con los sistemas productivos, en los últimos años, la agricultura ha avanzado considerablemente hacia una producción eficiente desde el punto de vista de la economía de la producción (biogenética, fertilizante, biocida, maquinaria, sistemas conservacionistas). Por el contrario, el manejo de ganado y pastura no ha avanzado ni rápida ni integralmente.

Del análisis efectuado resulta claro que existe un amplio margen para aumentar la productividad en extensas zonas del área del proyecto, y dadas las presiones económicas y la alternativa de reemplazar parte o toda la rotación de ganado con cultivo de siembra directa, es probable que aumente la tendencia hacia una mayor producción de cultivos en zonas que tengan por lo menos, un potencial moderado, siendo también probable un aumento del desarrollo de producción láctea (PMI, 1999).

*Respecto al desarrollo de actividades alternativas, tal como la **forestación**, las restricciones para su implementación se asocian principalmente a problemas de índole cultural: un productor fuertemente arraigado a la actividad agropecuaria, y ausencia de políticas de promoción forestal que permitan revertir efectivamente esta situación. Si bien habrían cuestiones técnicas y comerciales a desarrollar a fin de garantizar el éxito de actividades forestales, en términos ambientales, no existirían limitantes importantes para el crecimiento de especies forestales; gran parte de este éxito se asegurará en la adecuada elección de la especie en función de la interacción-genotipo ambiente donde la parte del suelo receptor y del agua subterránea que permitirá el abasto de nutrientes estén confiablemente definidas (PMI, 1999). La localización estratégica de plantaciones con fines reguladores resulta primordial, así por ejemplo la forestación en bajos dulces, márgenes de cursos y espejos de agua, podría tener un efecto benéfico en la región; sin embargo, sería necesario cuantificar el consumo de agua con y sin cubierta forestal en períodos de sequía e inundación, y así evaluar el beneficio ambiental.*

Se destaca la existencia de un número importante de instituciones que participan en la promoción y desarrollo de actividad forestal, a nivel nacional y provincial, y se han propuesto diversos planes de incentivo a la actividad forestal. Sin embargo, fuertes críticas han sido formuladas a sus acciones y resultados (PMI, 1999) que en general han conducido a una situación general de escasa aceptación de la actividad en la provincia, en especial en la región de estudio. En general las principales críticas a los programas implementados son debido a la ausencia de sustentabilidad de los proyectos, la centralización en el cultivo de *Eucalyptus sp.* y con hincapié en el desarrollo de la región del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Asimismo, se indica que la zonificación que se realizó de la provincia, así como la elección de especies asociadas no tiene un sustento técnico-científico, sino que se basó en criterios de corto a mediano plazo. Sería importante en este caso que se amplíe la opción de especies, orígenes y procedencias, de manera que vía ensayos y vinculación con posibles destinos industriales, el productor pueda plantar según objetivos preestablecidos PMI (1999).

Así por ejemplo, el PMI (1999) analiza el Plan de Incentivos a la Actividad Forestal, financiado por el Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires. Este plan procura contribuir a ordenar los recursos financieros concentrándolos en: abastecimiento, mejoramiento de la calidad de la plantación, y contribuir a la generación de trabajo rural. Para esto, se entregaba material de plantación para un máximo de 11ha (densidad 2,200 plantas por hectárea). Las especies promocionadas para la zona oeste y sudoeste, fueron: *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus viminalis*, *Populus sp.*, *Robinia pseudo-acacia*, por lo cual es claro que lejos se estuvo de alcanzar los objetivos planteados.

Actualmente, a partir de la promulgación de la ley N° 25.080 y la resolución 75/2007, se establece apoyo económico no reintegrable para la plantación y manejo silvícola de poda y raleo.

En el área del presente estudio, desde el punto de vista de la adopción y de la inserción en los sistemas reales de producción, se presenta como de más fácil adopción que la forestación pura, la implementación de *sistemas silvopastoriles* (punto 2.3.2.2). Esto se debe a que el productor puede mantener sus actividades tradicionales, y a que las políticas de fomento forestal, tales como exención impositiva, subsidios, y entrega de plantines favorecerían su implementación.

Sin embargo, falta investigación y experimentación en estos sistemas de producción, en relación con espaciamientos de las filas de plantación, mezcla de pastura, carga animal o corte de forraje, entre otros aspectos tecnológicos.

No obstante, la importancia que la actividad tendría en el área de interés, lo indicado se basa en estudios de suelo a escala 1:500,000; y no hay estudios básicos del funcionamiento del agua subterránea que permita definir los sitios más convenientes para la implantación forestal, así como los procedimientos más apropiados de manejo.

⇒ ANEXO A-6

En este apartado se amplían algunos de los temas presentados en el punto 2.1 **Inundaciones en la región pampeana.**

Se analiza la relación entre la ocurrencia de las precipitaciones y la profundidad de la superficie freática.

Relación precipitación-superficie freática

Se presentan las variaciones observadas en los niveles freáticos asociado a las precipitaciones, según diferentes autores, para la región pampeana en general con especial hincapié en el noroeste bonaerense.

Ventimiglia *et al.* (2003) indican que al ser ininterrumpido el exceso de la precipitación en el tiempo y abarcar una gran superficie, ha ido saturando por arriba de la superficie freática, llegando a funcionar como manantial o con la humedad muy próxima a la superficie del suelo. La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo anegado es nula, por lo que una lluvia pequeña agrava drásticamente el problema de inundación. La importancia de la lentitud de la velocidad de movimiento del agua en la zona no saturada (de centímetros por año) no siempre ha sido incorporada en estas apreciaciones así como tampoco el funcionamiento de agua subterránea ascendente producto del incremento de la presión hidráulica en zonas de recarga en muchos casos alejadas de las zonas donde se aprecia la inundación.

MAA-INTA (1986) indican que en Trenque Lauquen se midieron ascensos de 2.5m de la superficie freática en coincidencia con alta precipitación durante 1973. Para la localidad de Pasteur (partido de Lincoln, Figura 2.25) se menciona la oscilación de la superficie freática en años normales de lluvia entre 0.7m y 1.3m según estación climática. En épocas de lluvias atípicas por arriba de la media, las variaciones se dan entre 1.5m de profundidad y la superficie.

Paoli y Giacosa (2003a) en Laboulaye (suroeste de Córdoba) indican que hasta 1960 la superficie freática se encontraba en valores comprendidos entre 5-6m de profundidad respecto al nivel del terreno. Luego, por mayor ingreso de agua precipitada se producen incrementos escalonados ascendiendo a valores próximos a superficie. Estos autores, destacan, que esto no debe interpretarse como un fenómeno local, sino que es característico de toda el área de estudio. Esto es coincidente con lo mencionado en el informe MAA-INTA (1986). Asimismo, Carballo (2002) indica inicialmente que la precipitación en exceso hizo elevar la superficie freática desde más de 10m hasta la superficie, esto favoreció la expansión de cuerpos de agua cuya circulación se ve restringida por la fisiografía del área; este autor considera que la gravedad alcanzada de la inundación depende de la distribución e intensidad de la precipitación en cada evento; así el exceso hídrico provoca, anegamiento superficial, elevación de la superficie freática, y procesos de salinización en el suelo. Si bien es alentador que se incorpore la importancia de la presencia del agua subterránea como superficie freática en la respuesta de zonas inundadas, muchos de los análisis realizados son, usualmente estáticos infiriendo que el agua de lluvia se infiltra y se descarga localmente sin incorporar la presencia de sistemas de flujo de diferente jerarquía.

Kruse *et al.*, 2002, analizan la evolución de las condiciones hidrológicas observadas durante septiembre de 2002 en comparación con años anteriores, y encuentran que la superficie freática se encuentra muy cercana al nivel del suelo y que a su vez ha aumentado la superficie anegada en relación con el mismo mes de los años 1998, 1999, 2000 y 2001, el espesor de la zona no saturada con posibilidad de almacenar agua, es menor. Sin embargo, la respuesta de la superficie freática reportada por estos autores no muestra la correlación esperada de lluvia y ascenso de la superficie freática. Esto sugiere que el agua de inundación proviene, en una parte importante, de flujo ascendente (descarga) de agua subterránea que se recarga en una zona distante.

Casas (2003) analiza la fluctuación de la superficie freática con la precipitación acaecida para un sitio en Carlos Tejedor y encuentra dos periodos críticos, uno en verano (enero, febrero y marzo), cuando la lluvia no debe superar los 300mm para no alterar la fluctuación de la superficie freática. El otro en otoño (abril y mayo), fase de alta lluvia y evapotranspiración baja, donde la lluvia no debería superar los 200mm para mantener a la superficie freática en valor normal. Este autor reporta que la superficie freática fluctúa entre 0.60m y 1.60m de profundidad, destacándose que en general, el agua freática del noroeste bonaerense es de salinidad elevada, sódica y bicarbonatada. En este sentido el tipo bicarbonatada reportado sugiere la presencia de flujo de agua subterránea de tipo local que se ha enriquecido en Na por intercambio catiónico en el subsuelo, salinidad “elevada” es un aspecto subjetivo.

Hernández *et al.* (2003) para la zona del noroeste bonaerense, indican que los bajos endorreicos contenidos y particularmente los inter-médanos, acumularon agua hasta que su colmatación produjo la sucesiva expansión e interconexión de cuerpos superficiales, generando un movimiento hacia los bordes fluviales (Salado y Vallimanca). Sostienen que en su transcurso se fue anegando vastas superficies de posición relativamente deprimida. El ascenso de la superficie freática favoreció la expansión de la masa hídrica, al perder el subsuelo su capacidad de disipación de la energía acumulada.

Kruse y Laurencena (2005) indican que en condiciones naturales la variación de la superficie freática está directamente relacionada con la variación en la precipitación y exceso de agua; indican que si bien no existe una red de medición sistemática de la superficie freática en el ámbito provincial se pueden mencionar ejemplos que muestran la relación estrecha con el anegamiento, el cual en el noroeste bonaerense se vincula con el régimen subterráneo debido a la cercanía de la superficie freática con el nivel del suelo. Así por ejemplo, para Pehuajó, indican para marzo 1999 la elevada precipitación (450mm) y ascensos de 1.2m de la superficie freática. Por el contrario, en periodos que pueden considerarse de seca (enero-marzo de 2004) el nivel bajó en algunos sitios más de 0.6m. En esta última situación se redujo la superficie anegada y muchas depresiones se secaron. Es de hacer notar que los lapsos reportados corresponden con diferente período de respuesta del sistema, lo cual no quedó incorporado en el análisis.

Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) realiza relaciones entre evapotranspiración, precipitación, y variaciones de la superficie freática para series de años en diferentes localidades de la pradera pampeana, entre ellas el noroeste bonaerense. Destaca en relación con la evolución de la superficie freática, la poca e incompleta información asequible, de un total de 31 localidades sólo hay 9 con datos de precipitación. Los sitios están distribuidos por el sur de Córdoba, sur de Santa Fe, noroeste de La Pampa y noroeste-centro de Buenos Aires. Concluye que el exceso y déficit obtenidos para el balance hídrico no se ajustan en la medida de lo necesario a aquellos periodos en los cuales se produce aumento o disminución del nivel freático. Así, indica que a mayor profundidad a la cual se encuentra el nivel de saturación del suelo, menor es el porcentaje de lluvia que produce un incremento en la superficie freática. Asimismo recomienda un análisis trimestral de la precipitación, evapotranspiración y profundidad de la superficie freática, y señala que el período de descenso se ajusta mejor que los de ascenso, a lo que este

autor asocia que la curva teórica crece más rápidamente que la real en el período de ascenso al no tenerse en cuenta el efecto de almacenamiento de humedad en el suelo antes de que empiece a percolar y aportar a la superficie freática.

Este autor, concluye que se puede considerar igualmente, que existe una adecuada correlación entre la superficie freática, precipitación, y evapotranspiración potencial, para la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas, explicando los desfases producidos en la profundidad de la superficie freática. Así, indica que en Villegas, en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, una profundidad de superficie freática media de 8.8m tiene un retardo de un trimestre. En otros sitios, el desfase lo atribuye a la acumulación en superficie, la que aporta luego de un determinado período a la superficie freática y produce un ascenso del nivel, tal es el caso de las estaciones de Laboulaye en el sur de la provincia de Córdoba, con profundidad media de 4.3m con un desfase de un trimestre, y en Rufino, al sur de la provincia de Santa Fe, con una profundidad media de 1,5m y también un desfase de un trimestre.

Lo que este autor aprecia, principalmente en desfases de la reacción y la falta de ajuste que se produce con frecuencia entre lo que llueve y lo que se eleva la superficie freática, es resultado de aporte de agua subterránea de otros sitios. Sin embargo, no lo asocia a tipos de flujo, y zonas de recarga o descarga, sino por el contrario, se centra en el hecho de desconocer el almacenaje del suelo, el cual en general para muchas de los sitios que analiza es muy bajo (hasta menor a 50mm de retención).

Se destaca que Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) inicia su análisis, desestimando la importancia de flujos profundos al afirmar“*dado que los niveles acuíferos de mediana a gran profundidad no quedan involucrados directamente ni afectan el comportamiento de los niveles mas superficiales, directamente no serán considerados en este análisis*”. Asimismo, afirma que en la región “*prevalecen los términos de intercambio verticales (precipitación, infiltración, percolación, evaporación, evapotranspiración), por sobre los horizontales (subsuperficial y subterráneo). Los desplazamientos subsuperficial y subterráneo horizontales son reducidos y muy lentos debido a las condiciones geológicas, hidrogeológicas, hidrodinámicas, hidrolíticas e hidráulicas del medio poroso a través del cual circulan debido a su tipo y granulometría.*”. Con base en los datos presentados por este autor, para la región (punto 2.1.2.3.) estima que una partícula de agua infiltrada recorrería en el transcurso de un año, tomando las condiciones extremas, entre 0.6m y 3.6m. Esto contradice con lo indicado respecto a que en tres meses hay respuesta en la superficie freática, tiempo que resulta escaso para el movimiento lateral que señala.

⇒ ANEXO A-7

En este apartado del Anexo A, se amplían aspectos tratados en el **punto 2.3** sobre el **Manejo de vegetación y suelo: influencia en el agua subterránea**. En la bibliografía internacional (punto 2.3.1), y en la bibliografía Argentina, especialmente en el noroeste (punto 2.3.2).

Se incluyen los siguientes puntos:

En la *bibliografía internacional*: A-7.1 Agua subterránea estudiada desde la perspectiva del balance hídrico u otro método de uso frecuente; A-7.2 El agua subterránea estudiada desde la necesidad de definir sus flujos (amplían 2.3.1.1); A-7.3 Efecto de prácticas de manejo sobre el agua superficial (amplía 2.3.1.2); A-7.4 Magnitud y tiempo de cambio de la superficie freática (amplía 2.3.1.3 Bio-drenaje).

En la *bibliografía argentina*: A-7.5 Manejo de la cobertura vegetal herbácea, recomendaciones en Argentina (amplía 2.3.2.1) ; A-7.6 Origen del esquema productivo agropecuario argentino A-7.7 Potencialidad de la forestación en el noroeste bonaerense, y silvopastoreo; A-7.8 Cultivos que toman agua de la superficie freática (amplían 2.3.2.2 Plantaciones forestales y cultivos que toman agua freática);

A- 7.1 Agua subterránea estudiada desde la perspectiva del balance hídrico u otro método de uso frecuente

En este punto se presentan los principales resultados de los cambios en la vegetación arbórea, y otras alternativas de manejo, en el ciclo hidrológico y procesos degradativos asociados, así como recomendaciones sobre procedimientos de estudios del agua subterránea por diversos autores son presentados a continuación.

George (1992) estudió siete zonas de recarga que fueron paulatinamente limpiadas desde 1912 hasta 1985, a fin de determinar la responsabilidad de las condiciones del agua subterránea en la salinización tanto de ambientes prístinos como de los disturbados. Utilizan para su estudio diferentes técnicas tales como el balance de agua, balance de Cl⁻, y técnicas de rendimiento específico, obteniendo valores de recarga muy disímiles. Este autores encuentran en relación con la vegetación, que la recarga se incrementa al reemplazar la vegetación nativa por agricultura, y sugiere manejar la descarga. Así, encuentran que por reemplazo de vegetación natural por agricultura un incremento de la recarga de 1 a 3 ordenes de magnitud, y 10 veces en la descarga. Indican que el manejo de las zonas de captación a fin de evitar la salinización del suelo debería incluir sistemas de control en la *recarga utilizando rotación de cultivo especializado*. Hay poca evidencia de que la aplicación directa de este método en el área de estudio sea exitoso por si sólo, debiendo tener una parte de la zona de descarga un manejo acorde con la recarga, tal vez con implantación de freatófitas. Consecuentemente, la descarga de agua subterránea tiene un rol importante como parte integrante de manejo de agua de la zona de recarga y su control adecuado tendrá la potencialidad de disminuir la salinidad de tierras secas al reducir la descarga. Esto es, en la región de estudio, podría disminuir la salinización que se produce en época seca o cuando disminuye el aporte de agua superficial en forma marcada.

Scott y Sudmeyer (1992) en Australia encuentran que debido al reemplazo de la vegetación nativa por cultivo y pastura se produjo la elevación de la superficie freática. Encuentran pequeñas diferencias en la EVT de especies vegetales probadas e indican la necesidad de trabajar en grandes áreas para afectar la superficie freática, siendo importante el manejo tanto de la recarga como la de la descarga. Este aspecto no mantiene gran relevancia para el área de estudio ya que no se cuenta con una vegetación nativa que estuviera controlando el ascenso de la superficie freática por extracción.

Jolly *et al.* (1993) señalan que la desaparición del bosque nativo de *Eucalyptus largiflorens* es un problema creciente en planicies de inundación del bajo Río Murray, en Australia del Sur. La salinización del suelo de estas planicies como resultado del cambio en el manejo hidrológico del río, parece ser la principal causa de dicha desaparición. La regulación del Río Murray ha reducido la frecuencia de grandes eventos de inundación por un factor de aproximado de tres, pero causó la elevación de la superficie freática en la planicie de inundación, por falta de consumo por árboles, incrementando la descarga de una superficie freática naturalmente salina. Por otra parte, al disminuir los eventos de inundación ha disminuido la recarga y lixiviación de sal del suelo. Esto sugiere que una cubierta de árboles puede controlar el ascenso de la superficie freática, disminuir el aporte de sales al suelo y los caudales a manejar en un evento de lluvia extrema.

Richardson y Narayan (1995) utilizan un modelo *de flujo de agua subterránea* para evaluar diferentes opciones de manejo de suelo, recarga y descarga, e indican la necesidad de manejarlos conjuntamente, así como trabajar a nivel cuenca para que tenga efectividad en la disminución de la superficie freática, y en revertir la salinización. El modelo predijo las prácticas agrícolas comunes que elevarán el nivel de la superficie freática en los próximos 20 años, y que si bien tienden al equilibrio, incrementan la salinización. Señalan que es posible obtener reducciones del 50-90% en la recarga al mejorar el manejo de los cultivos existentes y

establecimiento de pastura anual, y predicen reducir el nivel del agua en la zona de captación por 10-20 años, permitiendo reducir la salinidad de zonas bajas. Sin embargo, el modelo predice que el manejo de la recarga debe ser mejorada al menos a escala de cuenca para ser efectiva, ya que el manejo a escala de sub-cuenca tiene limitado impacto. Asimismo, indican beneficios a corto plazo, menos de un año, por la extracción del agua subterránea desde una zona de alta conductividad hidráulica a la zona de descarga, opciones que necesitan trabajarse en conjunto a largo plazo con la recarga. Este estudio constata el sistema de manejo que incorpora a la vegetación como un elemento de extracción de agua subterránea y de interceptación del agua de recarga, lo cual permite mantener controlada la profundidad de la superficie freática y disminuir la descarga, por tanto es factible minimizar la salinización del suelo.

Zhang (1998) si bien el autor no realiza un estudio completo a fin de comprender la variación de la superficie freática, muestra claramente la posibilidad de modificarla por el consumo del cultivo y la práctica de manejo que favorezca, o no, a la recarga de agua.

Prathapar *et al.* (1998) describen un modelo que considera diferentes variables a fin de establecer aquellas actividades que aseguren un mayor beneficio económico y una menor elevación de la superficie freática, que la que se produce al regar arroz en el sureste de Australia. La presencia de una superficie freática poco profunda agudiza el peligro de inundación, salinización, y amenaza la productividad a largo plazo de la agricultura con riego. A fin de minimizar la recarga se desarrolló una Opción de Multi-criterio Jerárquico, SWAGMAN (*Salt Water and Groundwater Management*) para identificar los beneficios de dedicar el suelo a otro uso diferente al arroz que complemente el crecimiento del arroz e induzcan la descarga del agua poco profunda sin exceder el nivel crítico de salinidad del suelo. El referente de este modelo es multidisciplinario, ya que considera aspectos de agronomía, riego, economía, hidrogeología, y se aplica para estudiar la sensibilidad máxima del terreno arrocero por granja, consumo de agua, condición de lluvia, profundidad óptima de la superficie freática, salinidad crítica, nivel piezométrico inicial, avenamiento sub-superficial, y retorno neto de productores. Los resultados indican la manera de producir arroz complementado con maíz o canola a fin de minimizar la elevación de la superficie freática de agua y obtener mayor beneficio económico. La aplicación de esta metodología puede ser factible en un sitio donde se cuente con la información detallada pertinente sobre las variables involucradas y a la escala de parcela, sin embargo en el área de interés información de este tipo para muchas de las variables es de escasa a nula.

George *et al.* (1999), indican que la principal opción para contener la expansión de la salinidad es incrementar el consumo de agua con cultivo anual, pastura, plantar grandes extensiones de tierra desmontada con especie arbustiva y pastura perenne que mejor se adapte a las condiciones de presencia del agua en el sistema natural. A partir del estudio de 80 sitios con agricultura, con precipitación media anual de 500-700mm y EVT potencial elevada (extremos 1,500mm–2,600mm) encuentran que los árboles han alterado las condiciones del agua subterránea en el suroeste de Australia. Así, la plantación comercial de *Eucalyptus globulus* emplazado en zonas de recarga (33 sitios) condujo a un abatimiento significativo de la superficie freática (cerca del 70-80%) mientras que en zonas de descarga (47 sitios, plantaciones no comerciales de eucalyptus tolerante a la salinidad), la probabilidad de lograr el abatimiento de la superficie freática es más baja y menor la magnitud de respuesta. Por cada 10% de incremento en lo plantado en el zona de recarga, la superficie freática desciende 0.5m. Si el porcentaje de cobertura total del sitio es mayor a 30% es factible llegar a un abatimiento mayor a 2m en un 44% de la zona de recarga, mientras que sólo se afecta en un 9% en la descarga. El abatimiento máximo en el zona de descarga por repoblación vegetal fue de 2.5m, con un efecto mayor cuando la salinidad del agua subterránea fue relativamente baja (<5,000mg/l). En sitios con mayor salinidad la disminución del nivel es menor por una reducción

en el potencial de crecimiento del árbol. La menor salinidad del agua subterránea proveniente de flujos de agua subterránea local, la mayor salinidad está asociada con flujos de mayor jerarquía, lo que explica el mayor éxito de las plantaciones en flujos a escala local que regional. Se concluye en este estudio, que si las condiciones hidrogeológicas están bien definidas, la plantación de árboles puede constituirse en herramienta adecuada para manejar salinidad localizada. Este trabajo sugiere la pertinencia de que el realizar plantación en zonas de recarga es más eficiente que hacerlo en zonas de descarga. En este sentido el desafío metodológico no es en la definición de las segundas sino en la zona de recarga.

Sands *et al.* (1999) utilizan el modelo de productividad PROMOD para examinar los efectos que generaría plantar *Eucalyptus globulus* en una cuenca de New South Wales, Australia, en la captura de CO₂, como alternativa para incrementar o diversificar el ingreso alternativo a la siembra de arroz, también se evalúa su vinculación con las estrategias de irrigación, y si mediante esa plantación es posible reducir el proceso de salinidad en el suelo por ascenso de la superficie freática. Las condiciones del sitio son una lluvia promedio anual de 385mm con 1,765mm de evaporación potencial anual, un alto déficit de presión de vapor y poca agua en el suelo. El PROMOD utiliza datos de suelo, vegetación y clima, predice la producción anual de biomasa y el uso de agua, estableciendo el máximo de irrigación media anual. El modelo además, permite lograr algunos indicadores respecto a la productividad de madera y compararla con otros usos alternativos para el agua, por ejemplo, la siembra de arroz. Sin embargo, no es un modelo hidrológico o hidrogeológico, que permita incorporar el funcionamiento del sistema hídrico (incluyendo aporte por precipitación y riego) y la respuesta en el abatimiento del nivel freático o en la reducción de la salinidad en el suelo. El modelo parte del concepto erróneo y generalizado, de ignorar la importancia del funcionamiento del agua subterránea en los procesos de salinización, ya que no se considera que al irrigar con gran cantidad de agua, se producirá una infiltración que subirá la superficie freática; sólo se supone que el agua de riego ayudará al lavado de sales en el suelo, salinidad que por el contrario podría incrementarse.

Conacher *et al.* (2002) en Australia utilizan drenes que modifican los flujos de agua y asociado a esto la inundación y salinización resultante. Esto lo asocian con la existencia de diferentes tipos de flujo que aportan diferente contenido de sales, y al reemplazo de vegetación por otra que consume menos agua. Especialmente indican que el cambio de la vegetación nativa por cultivo y pastura con raíz más superficial ha reducido la descarga por disminución de transpiración más que por incremento en la recarga. Estos autores, proponen el manejo de ambas zonas (de recarga y descarga) en forma conjunta. Aunque aún no se presentan resultados de esta propuesta, la caracterización del sitio de estudio podrá ser de utilidad en estudios futuros.

Ryan *et al.* (2002) si bien no discriminan en zona de recarga o descarga, señalan la importancia de la plantación forestal a fin de afectar o influir en el ambiente, y no sólo desde la perspectiva de producción. Así, plantean un nuevo concepto para definir forestaciones que reflejen efectos integrados de los factores ambientales que influyen el potencial de rendimiento de un genotipo, y afecta el manejo del suelo para producir un conjunto de plantas y producir un tipo de producto.

Hatton *et al.* (2002) estudian el anegamiento y recarga al agua subterránea en el sureste de Australia, caracterizado por suelos con horizonte A arenoso y Bt arcilloso en pendiente, semejante a los que se presentan en el área del presente estudio, en las unidades geomorfológicas denominadas de "Mantos-Mantos Someros", con suelo *Hapludol tpto árgico*. Estos autores encuentran diferente control en el anegamiento y recarga al agua subterránea por prácticas de manejo con bosque, drenaje superficial y pastura, dependiendo de la topografía, suelo y cobertura, siendo los árboles los que tienen mayor efecto. Los resultados de este trabajo sugieren la posibilidad de que el control en la reducción de zonas inundadas pueda

efectuarse por medio de la introducción de bosque el cual en el mediano plazo será de una rentabilidad económica definitivamente mayor a una erogación de obras hidráulicas que requieren de un aporte inicial importante y de un mantenimiento continuo, que sin embargo no ha mostrado en general resultados favorables.

Cheng *et al.* (2002) realizan una revisión de la bibliografía de Taiwán, y otros sitios homologables de Asia, a fin de establecer el efecto del bosque en la cabecera de cuencas, en estos estudios el agua subterránea se estudia desde la perspectiva del balance hídrico. El análisis que efectúan a partir de lo existente es exhaustivo y completo, realizando un análisis crítico de los estudios. Sin embargo, encuentran y alertan la ausencia de información a fin de responder a algunas cuestiones pendientes para la situación particular de Taiwán, sometida a condiciones meteorológicas extremas y terremotos. Los autores destacan el éxito de los programas gubernamentales en la protección de cabeceras de cuenca, que iniciados en el año 1991 logran protecciones de hasta 74% de la zona forestada para el año 1996, lo que los autores traducen en un aseguramiento de la calidad de agua para la población y su almacenaje. Consecuentemente, si bien la política desarrollada en este sentido tiene cierta justificación científica, destacan que es aún necesario puntualizar cuales es el efecto del bosque sobre desastres naturales bajo eventos hidrometeorológicos extremos, y hasta que punto el bosque puede mitigar los efectos de la inundación, deslizamiento de tierras, flujo de detritos, y sequía. Mencionan la necesidad de estudiar los flujos de agua subterránea, así presumiblemente, los autores han percibido la importancia de incorporar en los cálculos y procesos correspondientes al elemento mayoritario que incluye más del 98% del agua dulce en el continente.

Humphreys *et al.* (2003), realizan una revisión sobre ensayos de campo relativos a un avenamiento profundo, consumo de agua por cultivo y pastura regados, práctica de manejo, para las condiciones de suelo y clima de Australia. Se analizan debilidades y fortalezas de los datos, y generan una base de datos que permite apreciar la clara variación que existe entre condiciones de sitio y cultivo sobre su consumo y posible efecto al agua subterránea. Si bien no establecen su funcionamiento, sólo hasta donde llegan las raíces, se destaca de esta revisión el consumo por capilaridad de una superficie freática poco profunda (0.6-1.3 m) que pueden efectuar algunos de los siguientes cultivos (todos de uso frecuente y mayoritario en la provincia de Buenos Aires) es de hasta 25% del total del agua consumida en soya, 29% en maíz, 36% en trigo y 55% en la alfalfa. La proporción del uso del agua varía según el tipo de textura de suelo, disminuye con superficie freática más profunda y salina, y se incrementa en sitios con mayor riego.

Rengasamy, *et al.* (2003) en Australia, indican pérdidas económicas por deterioro edáfico, y salinización en la zona de recarga, mayores incluso que las originadas en la descarga debido a la presencia de horizontes subsuperficiales de baja conductividad hidráulica y con tendencia a salinizarse por influencia de condiciones inherentes a los procesos de descarga. Los autores hacen una revisión de la respuesta de la planta a la restricción en la zona radicular, con énfasis en procesos que conducen a la acumulación de sal; analizan métodos físicos y químicos para recuperar el suelo, resistencia de la planta, modificación del suelo mediante ecosistemas agrícolas y forestales discriminando sectores de recarga y de descarga. Esta experiencia es positiva desde la perspectiva de lo ideal de incorporar una estrategia basada en la implantación de un cultivo que debe considerar la clase de limitación presente en el perfil del suelo tanto de la recarga como en la descarga. Suelos que son contrastantes en sus características físicas, químicas, así como en la calidad y cantidad de agua presente (punto 2.1.3.).

Haigh *et al.* (2004) analizan para diferentes países la importancia de manejar la cabecera de las cuencas, en particular de las zonas de recarga de agua, y la utilización de especies vegetales a fin de controlar los sedimentos que se generan al transformar bosques en zonas de cultivo. Destacan que en general la vegetación herbácea es una barrera insuficiente para evitar

deslizamientos de tierra, pero si son efectivos los árboles de raíz profunda. En algunos sitios, por ejemplo destaca la utilidad de la especie vegetal *Vetiveria zizanioides* (pasto vetiver), aunque no llegó a controlar el sedimento en Honduras. Si bien el área de estudio no incorpora pendientes que presenten problema de deslizamiento de tierra, este trabajo guarda cierto interés desde la perspectiva de la profundidad de las raíces de la vegetación ya que este parámetro se considera fundamental para el control de la superficie freática; dependiendo de su posición relativa se deberá establecer la vegetación y tipo que presente mayor eficiencia en el acceso al agua.

D'haeze (2005) analiza el excesivo uso del agua subterránea para riego de cultivo industrial, principalmente café, indicando que si se efectúa un uso adecuado del riego y una elección correcta del suelo para café puede evitarse la disminución del agua subterránea más allá de su capacidad de recarga. Este trabajo implica por un lado que se conoce la recarga, lo cual es un factor excepcionalmente conocido. Asimismo, se destaca que si bien en el área de estudio no se considera viable ni recomendable el aplicar riego, acción que evidentemente perjudicaría las condiciones de salinización del suelo, el trabajo de referencia resulta de interés por el hecho de proponer un manejo conjunto de zonas de recarga y descarga, y el efecto de cómo prácticas agropecuarias inciden sobre dichas zonas.

Murray y Buttle (2005) comparan el *efecto del bosque en la recarga en comparación con una zona talada*, efectuando mediciones con trazadores isotópicos e hidrométricos, discriminando agua proveniente de lluvia y de la nieve derretida, efectúan además mediciones del contenido de humedad por el método del TDR (*time domain reflectometry*). Si bien consideran tipo de suelo y vegetación, y como estos se vinculan al movimiento subsuperficial del agua sólo efectúan balances hídricos durante los dos años que duró el estudio. Se destaca el escaso tiempo considerado, el carácter local del estudio, y las imprecisiones en las asociaciones que establecen entre los resultados que obtienen y las características edáficas que describen, lo que permite suponer que de prologar sus estudios sus resultados posiblemente se modifiquen. Los autores no consideran mediciones en el agua subterránea, en consecuencia no incorporan la respuesta que tiene la infiltración (recarga) en el agua subterránea.

Ladekarla *et al.* (2005) utilizan procedimientos clásicos de hidrología subterránea para estimar la recarga: con bromuro, y con el modelo denominado COUP (CoupModel), y obtienen resultados comparables. Este modelo, basado en suelo y la ecuación de Richard's para flujo no saturado, de Jansson (1998), les permite estimar el balance de agua. Describen durante 7 años el suelo hasta 7m de profundidad, y vegetación de roble y brezo, aplicando ambos métodos de medición de recarga. Sin embargo, no analizan el aporte de flujo subterráneo, si bien mencionan que otros autores indican diferencias en estos según el sistema radicular y tipo de suelo. De los resultados obtenidos se destaca, la incidencia del tipo de vegetación sobre la interceptación de agua, EVT, escorrentía e infiltración; esto según sean para bosque de hoja perenne o caduca, zona foliar (superficie transpirante e interceptación), magnitud del árbol, sistema radicular (profundidad y tipo de exploración). Esto dependerá del suelo, en el sector superficial y subsuperficial, con existencia de sectores que retengan o lentifiquen la infiltración o que exista flujo diferencial. Este trabajo permite hacer consideraciones sobre la interceptación de la lluvia dependiendo de la cubierta forestal caso que no es común incorporar en los estudios sobre el uso de diferente tipo de especies arbóreas.

Browna *et al.* (2005) realizan una revisión exhaustiva sobre lo actuado para establecer los efectos en el rendimiento del agua, cantidad y flujos estacionales, en función de cambio en la vegetación. Indican que los estudios consultados fueron agrupados en cuatro tipos: reforestación, deforestación, repoblación, y conversión de plantaciones. Comparan dos métodos principales para definir los efectos de la cobertura vegetal en el agua, el de *ensayos apareados* con el *modelo del balance de agua anual* de Zhang *et al.* (2001), en los que encuentran

correspondencia en términos generales. Citan un gran número de valores de recarga de diversas fuentes bibliográficas para coníferas, latifoliadas, entre otras, así como un detalle sobre los efectos sobre el ciclo hidrológico de diferente tipo y porcentaje de cobertura. Estos últimos autores, establecen importante cuestionamiento sobre lo actuado, encuentran poca claridad, y destacan una variabilidad muy grande en el rendimiento del agua según vegetación asociada, entre otros factores, por lo que es difícil poder realizar extrapolaciones a grandes cuencas a partir de resultados existentes, y sobre todo con situaciones de manejo y clima diferente. No obstante, recomiendan el uso del método denominado Mundy (Mundy *et al.* (2001) y el de curvas de Scott y Smith (1997, en Brown *et al.*, 2005), que en realidad se contradice con cuestionamientos planteados por dichos autores, Brown *et al.*, 2005), alertan sobre la necesidad de *utilizar otros procedimientos de estudio* a fin de poder subsanar las inconsistencias observadas en relación con este tipo de estudio.

Lascha *et al.* (2005), presentan un *modelo para establecer el efecto del manejo forestal sobre el almacenaje de carbono y recarga de agua* en una cuenca de Alemania, y lo comparan y discuten con otros modelos. Desde el punto de vista hidrogeológico, consideran sólo el balance de agua, y cómo éste se modifica por diferente manejo de la forestación, encontrando *limitaciones de importancia mediante este procedimiento de estudio hidrogeológico*. En relación con la vegetación, reafirman el efecto del bosque en la recarga, dependiendo de la especie y manejo que del mismo se realice, así como de las condiciones climáticas. Proponen a fin de contrarrestar la disminución de recarga que se va a producir por un incremento en el uso de agua, modificar el manejo del bosque y reemplazar coníferas por latifoliadas. Sin embargo, la última recomendación puede ser diferente para sitios como en el área de estudio, donde las condiciones climáticas, el material litológico original y por consiguiente el suelo, producirán efectos diferentes y hasta contrastantes con los reportados para Alemania.

Thomas y Tellam (2006), presentan un *modelo de recarga* que incluye mediciones clásicas, el cual al compararlo con otros modelos, encuentran importantes coincidencias. Así, realizan el cálculo de escorrentía e intercepción por el *método de la curva número*; EVT por *Penman-Grinley*; interflujos por uso de índices empíricos, volatilización por la Ley de Henry; sorción por el coeficiente de distribución; y degradación por decaimiento de primer orden (del contaminante). Esto último, *el incorporar el flujo contaminante* es el componente diferente respecto a otros modelos. Incorpora datos meteorológicos, uso del suelo, atributos geológicos, geoquímicas, hidráulicos, topografía, elevación de superficie freática; y como *salidas* del modelo obtienen: escorrentía superficial, recarga potencial, pendiente de la superficie freática, interflujo, recarga real, flujo contaminante en escorrentía y su concentración en la superficie freática. Si bien los autores destacan la necesidad de incorporar aportes del flujo lateral de agua subterránea, e indican que el uso del suelo y referente geológico del sitio son los que principalmente definen la recarga, no incorporan en el modelo al agua subterránea ni efectúan un análisis detallado del tipo de suelo, vegetación, entre otros, debido a que consideran que si bien para contaminantes el nivel de detalle resulta insuficiente, no es así para establecer la recarga. Es evidente la incongruencia usualmente encontrada en el sentido de que si se considera que el uso del suelo es básico en la definición de la recarga, no se defina en forma suficiente para permitir contar con un referente más sólido en la determinación de la recarga. Asimismo, tampoco el receptor de la recarga, el agua subterránea ni los flujos correspondientes se incorporan al análisis realizado.

A-7.2 El agua subterránea estudiada desde la necesidad de definir sus flujos

En este apartado, se presentan los principales resultados y recomendaciones efectuados por diversos autores, que aún utilizando o analizando procedimientos clásicos de estudio de agua subterránea, mencionan inconsistencias, y la necesidad de incorporar otro tipo de estudio, que analice además, los flujos subterráneos a fin de responder al menos a algunos de los aspectos conflictivos detectados en sus resultados.

Mitsch y Gosselink (2000) realizan una revisión sobre las funciones que tiene el bosque y el valor relativo que el mismo cumple, con especial referencia a cuestiones de escala, y como en función de éstas, el valor económico de un producto puede ser más o menos importante respecto a otro valor asociado o servicio. Se describen todos los diferentes valores que posee el bosque en término económico, cultural, social, ambiental, en función de su nivel actual y grado de degradación, y como el bosque puede competir con el precio de los granos. Se indican valores porcentuales de bosque en una cuenca según la función que cumpla en la misma. Ponen especial énfasis en la *utilidad del bosque dependiendo de su posición en el relieve*, por su participación en *flujos biológicos e hidrológicos* con otros sistemas que se incluyen en el relieve. De modo que los resultados no pueden generalizarse en otro ambiente y contexto general, siendo necesario conocer qué es lo que ocurre, cuáles son los procesos. Los autores, no analizan métodos de estudio, sino plantean la necesidad de estudiar el *ambiente y sus servicios desde una perspectiva que aún continúa sin ser plenamente resuelta y comprendida*, tal como se desprende de la bibliografía consultada.

Browna *et al.* (2005) alertan sobre la necesidad de *utilizar otros procedimientos de estudio del efecto del bosque, deforestación, sobre la recarga*, a fin de poder subsanar las inconsistencias observadas en relación con este tipo de estudio cuando son analizados sólo desde la perspectiva del balance de agua. Esto lo critican también Lite y Stromberg (2005) así como Lascha *et al.* (2005). Los primeros destacan la necesidad de establecer los flujos de agua subterránea en los estudios vinculados a efectos del bosque y otras especies vegetales en el ambiente; los segundos consideraron sólo el balance de agua y como éste se modifica por diferente manejo de forestación, encuentran *limitaciones de importancia mediante este procedimiento de estudio hidrogeológico*.

Van Noordwijk *et al.* (2004) realizan un análisis completo sobre cuestiones ambientales a estudiar *i.e.* el efecto del bosque y su reemplazo sobre el ciclo hidrológico. Se efectúa una revisión de patrones en el relieve y como *afectan los procesos laterales de interacción con las externalidades*¹ a fin de establecer soluciones a nivel de paisaje que permitan intermediar o reducir conflictos entre propietarios y sociedad en general. Se discuten las principales categorías de problemas, funciones de cuenca, contaminación del aire y biodiversidad, que pueden ser clasificadas en diferente fase de movimiento de tierra, agua, viento, fuego y organismos. Estos últimos autores, establecen muy claramente la necesidad de *entender procesos, flujos laterales*, a fin de comprender efectivamente que es lo que pasa, y evitar *“mitos”* sobre temas naturales, a partir de los cuales se hacen *“cosas correctas por razones incorrectas”*. Asimismo, los autores discuten acciones que son también incorrectas, no sólo las razones, por ejemplo, plantar por plantar, con el costo que esto implica. Los autores alertan que los datos que se requieren tienen un impacto en las decisiones y políticas humanas, y por lo tanto exige conocer los métodos más apropiados para aplicarlos, dependiendo de donde las externalidades están dadas en el ciclo de la vida.

Se destaca la siguiente cita *“Los bosques pueden generar flujos subsuperficiales, las técnicas convencionales de medida normalmente incluyen los superficiales”*, pero ignoran las entradas de flujos subsuperficiales (Wenzel *et al.*, 1998, en Van Noordwijk *et al.* 2004)”. Asimismo, Van Noordwijk *et al.* (2004) afirman que el reconocimiento del flujo económico lateral es el elemento clave del paisaje a fin de establecer las externalidades debido al impacto que tienen sobre las funciones de regulación del ambiente ante la contaminación y degradación, e indican la necesidad de estudios al respecto, ya que si bien muchos de los modelos existentes han sido evaluados a escala donde fue *“cuidadosamente eliminada la dimensión horizontal”*, y debería volver a incorporarse. Según estos autores, puede esperarse una respuesta excesivamente positiva cuando los resultados de las investigaciones conducen a una revisión de la *sabiduría y del saber establecido*.

La **externalidad** es un efecto colateral de una actividad, puede ser negativo o positivo. Las externalidades se dan con mayor frecuencia en actividades relacionadas con temas ambientales. Si es negativa (contaminación por una actividad industrial), representa un costo para la comunidad y por el contrario, si es positiva (servicio del ecosistema) es un beneficio. Los activos ambientales no tienen un mercado, por lo tanto, no existen derechos de propiedad definidos. Como consecuencia de lo anterior, el mercado tampoco puede generar compensación económica a afectados por las externalidades. En consecuencia, los modelos económicos han usado el concepto de externalidad principalmente para tratar temas de contaminación y efectos negativos, dando lugar a modelos que estiman la cuantía del daño para valorar posible compensación, mediante impuesto u otras medidas. El pago por servicio ambiental resulta de aplicar el concepto de externalidad positiva e internalizar el beneficio para la comunidad en la valoración económica de ese beneficio.

A 7.3 Efecto de prácticas de manejo sobre el agua superficial

En este punto se presentan algunas antecedentes donde sólo se considera el agua superficial al evaluar el efectos de la vegetación o uso del suelo

Sun *et al.* (2001) presentan una revisión de *datos hidrológicos de superficie, fluctuación de la superficie freática*, composición química de agua y suelo, picos y flujo diario recolectado durante 5-10 años en humedales forestados a lo largo del sur de Estados Unidos a fin de evaluar el impacto hidrológico de prácticas de manejo forestal que incluye cosecha, preparación del sitio y avenamiento. Utilizan varios modelos de simulación hidrológica y sistemas de información geográfica. Se destaca, la falta de incorporar al agua subterránea, el análisis del suelo es escaso, e incluye una imprecisión de los ambientes que analiza, ya que el concepto de humedal no está claramente definido (incluye humedal llano, loma de cipreses y llanura con pino, base de río).

Sauer *et al.* (2005) sintetizan la información sobre infiltración, efecto de la posición del relieve y tipo de suelo proveniente de tres estudios a fin de comprender la dinámica de la escorrentía en una pequeña cuenca (147ha forestadas y con agricultura) de una terraza cárstica del noroeste de Arkansas. Si bien los estudios son exhaustivos en aspectos vinculados con la infiltración, escorrentía, suelo, y vegetación, no resulta claro como la práctica de manejo, forestación y pastura influyen sobre dicha infiltración y escorrentía. Muy posiblemente, la técnica de estudio no se ajusta a las características edáficas que describen. Esto en parte, lo indican los propios autores, al reconocer que desconocen *hacia donde va la descarga*, y que faltan elementos para establecer lo que sucede en superficie. Encuentran muchas limitaciones con los datos y no pueden explicarlos bien. Se destaca que no incorporan estudios a profundidad y con el detalle necesario.

Lite y Stromberg (2005) estudian el efecto de la profundidad de la superficie freática sobre la vegetación, y como su manejo podría contribuir a disminuir el problema de falta de agua en ríos por elevada extracción; sin embargo, no analizan los motivos por los cuales dicha superficie freática se modifica. Así, si bien mencionan a la disminución de flujo de agua superficial y subterránea como responsable de cambio en ecosistemas de cursos de agua, en el suroeste de los Estados Unidos, sólo miden las fluctuaciones de la superficie freática y el estado de la vegetación, estableciendo umbrales de tolerancia de dicha vegetación a las condiciones del agua freática. Estos autores centran sus estudios en superficie, debido a que desde su perspectiva encuentran mayor asociación en los flujos superficiales (que con los subterráneos).

Whitea y Greerb (2006) estudian un cambio de *vegetación riparia* a consecuencia de la alteración en la corriente de un arroyo, asociada con urbanización. Se analiza el cambio en el flujo superficial, cantidad, descarga e inundación resultante, pero no realizan ningún estudio de campo sobre la geomorfología ni de la influencia o relación con el agua subterránea. Indican

aumentos de escorrentía y disminución de infiltración, estimados a partir de la precipitación, caudal de escorrentía, sin efectuar una correlación con la influencia o respuesta con el agua subterránea.

A-7.4 Magnitud y tiempo de cambio de la superficie freática

En este punto se presentan los resultados de publicaciones que analizan la respuesta en la superficie freática al implantar árboles (Bio-drenaje).

Stirzaker *et al.* (1999 en Heuperman *et al.*, 2002) indican que es variable el tiempo en que la vegetación comienza a producir cambio de la superficie freática, pero se estima que el mayor impacto se logra luego de 10 años de establecimiento de la plantación, y estudian la forma en que pastura y cultivo pueden combinarse a fin de lograr una reducción de la superficie freática.

El aporte de agua en un territorio y su retención, dependen de las condiciones edáficas, régimen de lluvia y profundidad del suelo (Lima y Zakia, 2006). En relación con el efecto de la vegetación sobre el agua subterránea de un sitio, se destacan los estudios realizados en Melbourne, Australia sobre una zona que presentó una vigorosa regeneración natural de *Eucalyptus regnans* luego de un incendio, se produjo una reducción en la salida de agua subterránea de la cuenca que ha sido estimada en 300 a 400mm/año. Estudios posteriores cuantificaron que a medida que la masa boscosa crece la disminución de aporte alcanza su máximo en los 15 años. Así, Vertessy *et al.* (2001) indican que cuando la plantación crece se incrementa la reducción de la salida de agua hasta que se estabiliza. Esto sugiere como relevante la etapa del cultivo en el cual se mide el aporte. En los primeros años el cultivo produce biomasa a tasa creciente de producción, luego a tasa decreciente para luego estabilizarse. Delgado *et al.* (2006) encuentran que en suelos del Uruguay plantados con *eucalyptus sp.* la evapotranspiración es mayor que en pastizal.

Whitehead y Beadle (2004) señalan que el *eucalyptus sp.* se comporta como cualquier otra especie vegetal en términos de eficiencia en uso de agua para producir biomasa. Al respecto se destaca el trabajo de Stape (2002), que mide la eficiencia en la producción de biomasa y uso del agua en 14 sitios en Bahía, Brasil, en un gradiente de lluvia entre 730-1,560mm.; encuentra que por cada 100mm de incremento en la precipitación, la plantación de *eucalyptus sp* produjo adicionalmente, 2,300kg MS al año. La eficiencia en la captura o intercepción de agua varió entre 48-86%; el uso del agua entre 590-1,000 mm/año y la eficiencia en el uso del agua (kilo de biomasa producida con mil litros de agua) entre 1.34-4.58kgm⁻³. La producción de materia seca para la plantación de *Eucalyptus grandis x urophylla* fue de 9,400 a 32,600kg MS año.

Khamzina *et al.* (2005) también describen principios, aplicaciones del *bio-drenaje*, y ensayos en suelos hidromórficos, sódicos, de textura arenosa y franco arenosa con diversas especies arbóreas. Estos autores, indican que si bien la técnica de BD tiene como estrategia seleccionar árboles con alta capacidad transpiratoria, es también importante considerar, el consumo de agua, tolerancia a la salinidad y velocidad de crecimiento. Las especies que mejor funcionaron fueron *Eleagnus angustifolia*, seguidas de *Ulmus pumila*, *Populus euphratica* y *P.nigra*, indicando que en los sitios de descarga debe ser mejor estudiados los procesos de acumulación salina. Así, si bien árboles de 6-10 años de edad no se vieron afectados por la salinidad, aún la cercanía de la superficie freática (0.7-1.3m.), la salinidad del agua (3.3 y 4.4dS/m) y del suelo (4 dS/m) fueron suficientemente bajos como para no afectar el crecimiento de los especies vegetales implantadas. En este trabajo, se indica que en general, debe transcurrir 3-5 años para disminuir la freática 1-2m, e indican el consumo de diferentes árboles según las diversas fuentes. Se destaca, que los autores, encuentran que la alta variabilidad de consumos indicados en la bibliografía, se debe a la gran variedad de procedimientos de medición que se utilizan. Así, por ejemplo se indican los siguiente consumos de agua: para el *Populus sp*, 346l/día/árbol, en otra fuente entre 650 y 2,350mm/año; para el *Salix sp* 379l/día/árbol, 770-1,350mm/año;

Eucalytus sp 137-143l/día/árbol, 300mm/año, específicamente el *E. Globulus* entre 262 y 595mm/año; *Tamarix sp* entre 2,200 y 2,800mm/año.

No sólo hay efecto por la vegetación arbórea, también se indica la importancia de especie vegetales herbáceas como técnica de *bio-drenaje*. Heuperman *et al.* (2002) destacan como especie herbácea adecuada para el BD a *Medicago sativa* (alfalfa), si bien, no resiste condiciones edáficas ni de agua adversas extremas.

Sharma (2007), analiza la tolerancia de cultivos de cosecha de cereales, oleaginosas, legumbres, tales como: trigo, cebada, mostaza, mijo, girasol, pasturas, entre otros, respecto a la permanencia del anegamiento (entre 1 y 6 días), sodicidad, salinidad, y presencia de superficie freática cercana a la superficie, respecto al suelo drenado, o al modificarse la salinidad. Este autor destaca cuatro criterios básicos para evaluar las especies vegetales para estos fines: *germinación, sobrevivencia de plantas, crecimiento o rendimiento absoluto y relativo*; e indica parámetros útiles para evaluar la resistencia de las plantas a la alcalinidad, tal como la relación en los tejidos vegetales de Na y K. Asimismo, evalúa el momento del ciclo del cultivo donde ejerce mayor efecto negativo un determinado estrés, tal como el anegamiento así como los efectos que éste provoca en la fisiología de especies vegetales.

Sondhi (2007), compara las especies arbóreas respecto a las herbáceas, así como la utilidad de la técnica del BD en sitios donde no se adaptan drenes superficiales por escasa pendiente, y donde la superficie freática es muy salina. Destaca las ventajas que los árboles poseen respecto a especies herbáceas, debido al sistema radicular profundo, mayor consumo de agua, transpiración, y por disminuir la recarga por interceptación foliar de la precipitación, lo cual permite mantener la superficie freática bajo control. Sin embargo, destaca que el principal problema de éxito de esta técnica es el establecimiento de especies vegetales, principalmente si se plantan por semilla, para lo cual propone el procedimiento desarrollado para *eucalyptus sp.* en suelos afectados por anegamiento y salinidad con riego limitado o sin riego. Esta técnica consiste en sembrar semillas híbridas en el suelo que se dispone (0.05m) sobre lomos cubiertos con polietileno, de 0.3m. de altura, pendiente de 2°, 2.5m en la base y 1.5m en la parte superior (distancia entre lomos consecutivos de 2.5m).

A-7.5 Manejo de la cobertura vegetal herbácea, recomendaciones en Argentina.

En este punto se explica el significado de términos sobre prácticas de manejo, y se amplía el tema sobre recomendaciones en el manejo agropecuario en el noroeste bonaerense dadas en punto 2.3.2.1. Asimismo, se describen algunas experiencias realizadas en el sitio del presente estudio.

Significado de las prácticas de manejo recomendadas en el punto 2.3.2.1, para su implementación en el noroeste bonaerense.

Labranza vertical: corte del suelo sin inversión mediante el uso de rejas, el cincel trabaja hasta 0.2-0.3m de profundidad, el subsolador hasta aproximadamente 0.4-0.5m, dependiendo del contenido de humedad y tipo de suelo.

Inter-siembra: siembra de especies forrajeras sobre un pastizal natural sin remover el suelo, o con remoción sólo en la línea de siembra, utilizando maquinaria especialmente desarrolladas en la Argentina para estos fines denominada Intersembradora de pasturas (INTA-Castelar) u otras herramientas de labranza, tal como cinceles, que se adaptan con cajones sembradores, para esta operación de siembra (INTA, Villarino). Se logra incrementar rápidamente la oferta forrajera, ante la imposibilidad de preparar adecuadamente el suelo, recuperar una pastura, cuando se han perdido las especies más importantes, mejorar la composición de un pastizal natural o bien lograr una cobertura vegetal adaptada con un mínimo de laboreo. A fin de asegurar su éxito, debe eliminarse o reducir al mínimo, la competencia de la vegetación existente mediante pastoreo, desmalezado mecánico o con herbicidas.

Recomendaciones de manejo agronómico para el noroeste bonaerense En relación con el manejo agronómico a fin de recuperar un suelo salino, se presenta a continuación lo indicado en punto 2.3.2.1, respecto al manejo de la salinidad, pero con mayor detalle por Zamolinski (2001), y Casas (2003). Este último autor, en función de las características del sitio y grado de deterioro indica que las prácticas pueden agruparse según sean: 1) zonas con problemas de avenamiento y actividad ganadera, y 2) zonas agrícolas.

1) **zonas con problemas de avenamiento y actividad ganadera:** como se indicó anteriormente, la salinización es un proceso parcialmente reversible en ciclos climáticos normales para la región, cuando el agua de lluvia lixivia las sales hacia horizontes profundos, dando lugar a una lenta recuperación natural. Sin embargo, para que esto suceda debe *evitarse el pastoreo continuo*, que intensifica la denudación del terreno provocando compactación superficial y disminución de la capacidad de infiltración. Es posible observar esta condición en la re-vegetación natural del suelo, indicando Casas *et al.* (2003) igual secuencia de vegetación que la presentada precedentemente por MAA-INTA (1987). Zamolinski (2001) a fin de recuperar estos sitios indica que en forma básica se pueden dar dos situaciones de lotes recuperables:

- a. suelo totalmente o en su mayor parte sin cobertura vegetal “desnudos”, con algunas matas de *Salicornia sp* (jume).
- b. suelo totalmente o en su mayor parte cubierto con especies nativas tolerantes como *Cynodon dactylon* (gramón) y *Distichlis sp* (pelo de chancho), con algunos espacios sin cobertura vegetal denominados en la región como “peladales”.

En Figura 2.32 y 2.33 (en cuerpo principal de tesis) se presentó un detalle de las situaciones descritas, vegetación con *Briza sp*, *Trifolium sp*, otras de loma, sin salinidad e hidromorfismo, y *Salicornia sp*, *Distichlis sp*, y sitios sin vegetación con muy alta salinidad e hidromorfismo, respectivamente.

Los *sectores carentes de vegetación* son los más críticos en cuanto a su recuperación. En ellos es conveniente realizar la cobertura de la superficie del suelo con *rastrojo o paja* de cualquier naturaleza a fin de disminuir la incidencia de la energía evaporante y con ello el ascenso de la solución salina de la superficie freática.

Otra metodología para disminuir el ascenso de sal consiste en trabajar la superficie del suelo mediante *un cincel (labranza vertical)*, en forma repetida durante el verano para romper la capilaridad que conduce al ascenso de sales, y asimismo, al mejorar la infiltración, posibilita que la lluvia lave la sal hacia horizontes profundos. Esta operación se debe realizar previa a la siembra de una pastura en el otoño.

Una vez que se logra disminuir la salinidad con alguna de las prácticas enunciadas, es posible la siembra e implantación de una *pastura a base de especies tolerantes*, entre las cuales han mostrado buen comportamiento las siguientes: *Thinopyron ponticum (ex Agropirum sp)*, *Festuca arundinacea*, *Lotus tenuis*, *Melilotus albus* y *Melilotus officinalis*.

En el caso de contar con vegetación desarrollada espontáneamente en el suelo a recuperar, se podrán *intersembrar* directamente las mismas especies mencionadas en párrafo anterior, seleccionándolas en función del grado de salinidad. Previo a la inter-siembra se recomienda aplicar un herbicida total para secar la vegetación natural, pero manteniendo la cobertura.

Para acelerar el proceso de recuperación es necesario aplicar prácticas de manejo tendientes a mejorar las condiciones hidrofísicas del suelo, mantener la cobertura vegetal existente, y romper la continuidad del espacio poroso del suelo a efecto de evitar ascenso capilar de la solución salina.

Casas (2003) no realiza una discriminación de prácticas basadas en definición de zonas de recarga o descarga, sin embargo, indica la importancia de adaptar los cultivos y pasturas no sólo para condiciones edáficas superficiales sino con ubicación en el relieve, lo que permite que estas actúen como verdaderas bombas biológicas. Así se indica que en la región, la principal salida de agua es vertical, con una evapotranspiración calculada en 65-88%. Consecuentemente, la práctica agronómica de manejo del suelo constituye una herramienta clave para mejorar la situación de la región; en el *bajo* debe implantarse especies resistentes (previamente mencionadas), y en el *alto*, alfalfa y pasturas coasociadas (mezclas de diferentes especies). Por último, destaca el implementar *planes masivos de forestación* como una medida muy acertada para contribuir al secado del suelo.

Experiencias realizadas en la región por Zamolinski (2001) y Casas (2003)

Zamolinski (2001), en suelo *Hapludol tecto nátrico* (Figura 2.30) con alta salinidad con ausencia de vegetación en superficie (Figura 2.33). Realiza laboreos superficiales, escarificación con cincel y disco, y lo comparan con clausuras (exclusión del sitio de toda actividad pecuaria), y pastoreo continuo de ganado vacuno. Se cubre la superficie con material vegetal que se corta de ambos lados de la ruta provincial 226, a razón de 7,000kg de materia seca por hectárea, a fin de interrumpir el ascenso capilar de sales desde la superficie freática. Si bien el efecto del cincel desaparece a los 12 meses, el lavado de sales que se produce, posibilita la germinación de agropiro alargado (*Thinopyron ponticum*) sembrado, y de semillas contenidas en el material cortado con que se cubre la superficie (principalmente semilla de *Bromus unioloides* “cebadilla criolla” y *Festuca arundinacea*). Se deja semillar anualmente el agropiro, se corta dejando el material esparcido, hasta lograr la ocupación de todo el terreno. Con este procedimiento en 3-4 años se logran 9,000kg/ha de materia seca, en comparación con 5,000kg/ha en la clausura. En superficie, 0-0.15m de profundidad, la K disminuye de 50dS/m a 13dS/m, mientras que a 0.15-0.30m de profundidad dicha disminución es de 22 a 8dS/m para los tratamientos y el pastoreo continuo respectivamente. Se destaca, que la clausura presentó valores en sales semejantes a los tratamientos.

En suelo *Natralbol típico* con vegetación natural de *Distichlis spicata*, salinidad de 16dS/m, y pH 8.9, se ensayan sistemas de laboreo, e implantación de varias especies vegetales. Los mejores resultados se obtienen con la siembra directa sobre el tapiz vegetal existente, y con el tratamiento de eliminación total del material vegetal natural con herbicidas y posterior siembra directa. Los peores resultados de recuperación del suelo en su salinidad, se dan con el uso de arados de rejas o discos (invierten el suelo). Las especies que tuvieron buen comportamiento ante alta salinidad fueron: *Thinopyron ponticum* (agropiro alargado), *Festuca arundinacea* (festuca) y *Melilotus alba* y *M. officinalis* (trébol de olor).

Cuando la alcalinidad prevalece (pH 8.2, y CE menor a 8dS/m), se comportó muy promisoriamente *Lotus tenuis* (lotus). En los casos exitosos se evitó el pastoreo 1 año a partir de la siembra realizada en otoño. En verano se eliminan malezas cuando la semilla de especies valiosas es viable, y el pastoreo en el otoño siguiente a la siembra, debe ser moderado y de corta duración, con piso seco, evitando la compactación por pisoteo.

Casas (2003) describe experiencias en las que se cubrió el suelo con cobertura de *Stipa brachychaeta* (pasto puna) (1,500kg/ha) con la posterior implantación de *Thinopyron ponticum* (agropiro alargado), con lo cual se logró disminuir en pocos meses en forma significativa la salinidad, alcalinidad y pH, en especial al compararlo con un campo natural pastoreado en forma excesiva (sobrepastoreo). Así, la salinidad con agropiro osciló entre 5-8dS/m, y en campo natural entre 13 y 36dS/m. Igualmente, en otras experiencias con agropiro, se logró bajar la salinidad a 5dS/m hasta 0.50m de profundidad, mientras que en la pastura natural se mantuvo a 65dS/m en superficie, y sólo a 0.25m de profundidad se iguala con la pradera de agropiro en un valor próximo a 5dS/m. En relación con el pH, el agropiro lo disminuyó de 9.5 a 8, y se mantiene

más bajo hasta 0.50m de profundidad respecto al campo natural. Respecto al Na, el agropiro sólo contribuyó a disminuir el PSI (porcentaje de Na intercambiable) hasta 0.25m de profundidad, al menos para el periodo estudiado. Así, el PSI disminuye de 70 a 40 en los primeros 0.05m de profundidad y de 60 a 25, a 0.15m, para luego igualarse a partir de 0.25m de profundidad, donde tanto en agropiro como en campo natural el PSI es de 55. Por último, con agropiro se aumentó la materia orgánica a 3% (campo natural sobrepastoreado 1%).

En todos los casos resulta *fundamental evitar el sobrepastoreo y la compactación*, a fin de evitar la pérdida de infiltración y aumento de la escorrentía. Se deberá mantener en buenas condiciones el espacio poroso y un adecuado nivel de materia orgánica. La idea principal es incrementar la infiltración, con acumulación en el suelo y aumentar la evapotranspiración. Los excedentes escurrirán lentamente hacia los bajos y lagunas efímeras cuya capacidad podrá ser incrementada mediante la construcción de bordos perimetrales.

Tal como se indicó, los cambios que evidencian los autores se han medido en los primeros horizontes del suelo, sin embargo, estos cambios podrían revertirse en tiempo impredecible debido a que se desconoce el origen de la salinidad. Así, si bien se indica que provendría de la superficie freática, no se indica a que tipo de flujo corresponde, como así tampoco se indica que pueda provenir de sales de superficie que son lavadas en el recorrido del agua durante períodos de lluvias elevadas.

Especies forrajeras recomendadas para el noroeste

Se indican a continuación sobre las especies indicadas en Tabla 2.13 del punto 2.3.2.1, algunas propiedades adicionales en relación su resistencia a factores adversos, aptitud de suelo, entre otras características fisiológicas y de manejo.

- ***Medicago sativa*** (alfalfa) mejora el suelo, resistente a la sequía, facilita la acumulación de humedad, aprovechamiento muy prolongado, muy nutritiva, con facilidad de rebrote. Es muy importante su inoculación para que actúe hacia la mejora de la fertilidad.

- ***Lotus corniculatus*** (lotus) es resistente al frío y a la sequía, prolongado período de vegetación, de desarrollo vigoroso, rápido, y buen rebrote.

- ***Lotus tenuis*** (lotus) es perenne estival, naturalizada en la Cuenca del Río Salado. Es de clima templado, no resiste el frío por no tener periodo de reposo (dormancia), y posee una elevada adaptación a suelo sumamente húmedo, de pH alto, comportándose mejor que *Lotus corniculatus* en esta situación. Esta característica en forma conjunta con sus menores requerimientos de fósforo y su hábito de crecimiento postrado, lo hace muy recomendable para siembra, pero con adecuada fertilización, en suelo bajo que se maneje con pastoreo frecuente e intenso. Otros autores, indican densidad de siembra algo menor que la indicada en Tabla 2.13, de 4-5kg/ha.

- ***Lotus pedunculatus*** (lotus) es perenne estival, con crecimiento semi-postrado, posee bajo requerimiento de fertilidad y tolera exceso hídrico. Estas condiciones determinarían un adecuado comportamiento en bajos, aunque el mismo no ha sido muy utilizado en este tipo de siembra. Se puede lograr una densidad de siembra entre 3-5kg/ha, dependiendo de la cantidad de fertilizante agregado.

- ***Trifolium repens*** (trébol blanco) es perenne, de tallo rastrero, con un desarrollo vigoroso y agresivo que le permite soportar satisfactoriamente el pastoreo.

- ***Trifolium resupinatum*** (trébol persa) es una leguminosa anual de destacada calidad para producción lechera, por alto contenido en proteína y Ca^{+2} .

- ***Trifolium pratense*** (trébol rojo) tiene alto vigor inicial, precocidad, produce una gran cantidad de tallos herbáceos (macollos), por lo que la hace altamente recomendable para el mejoramiento de tapices cuando se desea una alta producción de forraje en un período de tiempo relativamente corto, y para mejorar el suelo. Su crecimiento erecto le confiere características de elevada tolerancia de competencia frente al tapiz natural. Sin embargo, la

mayor probabilidad de enfermedad en esta condición de humedad y su marcada bi-anualidad ha determinado su escasa utilización para mejorar las coberturas. Es resistente al pastoreo, rebrota con facilidad y es muy apreciado por el ganado. Otros autores dan como densidad de siembra, 6-8kg/ha, que difiere de la Tabla 2.13.

- **Melilotus officinalis** (trébol de olor amarillo) se recomienda asociarlo con agropiro alargado que tolera bien el suelo alcalino y salino-alcalino. Posee resistencia a la sequía, salinidad, tolera exceso de humedad o inundación periódica. Es menos rústico que el **Melilotus albus**, de tallo más fino y más producción de hojas, posee algo más de cumarina (confiere olor a la leche), por lo que los animales no lo pastorean bien hasta que se acostumbran y genera buen engorde. La variedad Madrid posee menos cumarina, por lo que aumenta su palatabilidad.

- **Vicia sativa** (vacía) se la utiliza perfectamente como pastoreo para vacas de tambo y por su lento crecimiento inicial se combina con pasto romano. Se adapta a condiciones extremas de poca de humedad y salinidad en el suelo. Está naturalizada en la región, particularmente como maleza de alfalfar. Su calidad forrajera baja, dado el contenido de cumarina y la mayor proporción de tallo fibroso. No obstante su baja palatabilidad, su valor nutritivo es alto.

- **Thinopyron ponticum** (agropiro) tiene buen comportamiento en campo húmedo y alcalino en región templada y también en suelo de región semi-árida. Es una gramínea rústica, muy productiva, aunque de lento crecimiento inicial. Tiene muy buen valor nutritivo, y alta resistencia al pastoreo. Es excelente forrajera, aunque al tener textura dura y áspera, no es muy apetecida por la hacienda. Es extremadamente tolerante a la salinidad, a menudo es usada en zonas altamente salinizadas o alcalinizadas, donde otras forrajeras no darían suficiente producción. Como inconveniente presenta lentitud de crecimiento inicial (salvo que se utilice fertilizante apropiado).

- **Bromus unioloides** (cebadilla) tiene la cualidad de conservar la palatabilidad aún después del encañe, en condiciones adecuadas de pastoreo tiene facilidad de resiembra, y resistente a la sequía.

- **Phalaris aquatica** (falaris bulbosa) logra una gran longevidad, produce una gran cantidad de tallos herbáceos (macollos), con alta capacidad para producir forraje y también abundante semilla, altamente resistente al pastoreo y de rápido rebrote.

- **Festuca arundinacea** (festuca alta) es una planta rústica, de buena palatibilidad, produce abundante forraje y soporta pastoreo prolongado sin ser afectada por el pisoteo, proporcionando piso firme.

- **Chloris gayana** (grama de rhodes) es resistente al pastoreo, produce desde la primavera hasta el otoño, secándose en invierno, aunque con temperatura y humedad favorable puede permanecer verde todo el año.

- **Eragrostis curvula** (pasto llorón) es aconsejable sembrarlo una vez pasado el peligro de la helada tardía, no es exigente a la calidad del suelo.

- **Dactylis glomerata** (pasto ovilla) es forrajera perenne de larga vida, muy valiosa para pasto y heno, se adapta al pastoreo de rotación, tolera la acidez y la sombra.

- **Phalaris minor** (pasto romano) es una gramínea de lento crecimiento inicial, que una vez arraigado macolla abundantemente.

- **Lolium multiflorum** (rye grass anual) es una planta para forraje, es valiosa para pasto y heno.

- **Lolium perenne** (rye grass perenne) es una gramínea de gran calidad para forraje que se resiembra con facilidad, de excelente palatabilidad, proporciona un piso firme para el pastoreo por su siembra radicular superficial.

- **Cichorium intybus** (achicoria) esta planta suministra forraje durante todo el año, se resiembra con mucha facilidad, buena resistencia al pisoteo, compite muy bien con las malezas.

- **Avena sativa** (avena) es el cereal de pastoreo, de buena producción de pasto con un mayor ciclo de aprovechamiento, y excelente palatabilidad, es consumido por el animal aún encañado.

- **Hordeum vulgare** (cebada) es el cereal de pastoreo de ciclo más corto de siembra y aprovechamiento.

- **Secale cereale** (centeno) es tolerante a la sequía y el frío, soporta bien el pisoteo y es conveniente pastorear intensamente para prolongar el encañe.

Respecto al manejo de estas especies vegetales, Zanoniani (2002), indica recomendaciones para la implantación de forrajeras en bajos, y de manejo del primer año. Este autor indica que si bien en los bajos, la implantación inicial es mejor que en otras zonas dada su menor restricción hídrica; es aquí donde se da la mayor pérdida durante la primavera, si bien nuevamente mejora la sobrevivencia en el verano. Propone realizar el siguiente manejo: en primavera, luego de logrado un número adecuado de plantas arraigadas, se deben pastorear frecuentemente por 30 días para reducir la competencia por luz de especies estivales residentes en el bajo. Llegado el verano, si bien se debe aliviar un poco durante 40 días, el período de descanso debe ser tal que permita regular calidad, selectividad, y competencia entre todas las especies. Así, el manejo del pastoreo que impida la excesiva acumulación de pasto en primavera-verano es esencial para mantener un adecuado número de plantas a través del tiempo, y permite una mejor posibilidad de lograr una pastura de poca altura en otoño que es esencial para posibilitar la resiembra natural.

2) En zonas agrícolas por efecto de la inundación se produce erosión hídrica, compactación, lavado de nutrientes, que podrán afectar la productividad del suelo en forma temporaria o permanente. Así, en estas zonas se registra escorrentía desde los sectores más altos, así como encharcamiento temporal y anegamiento en sectores deprimidos. El agua genera erosión en la pendiente del suelo, y sedimentación en sectores bajos, ambos procesos de degradación se constituyen en serios por su gravedad e imposibilidad de remediación (sobre degradaciones, punto 2.1.3.4). Es importante mediante prácticas de manejo del suelo retener el agua de lluvia donde cae, evitando o retardando en la escorrentía a bajos y lagunas. En este sentido la *siembra directa* mejorará la infiltración y almacenamiento en lomas y cordones medanosos.

Otros procesos que se verifican son la compactación del horizonte superficial, formación de sellos y costras que limitan la infiltración del agua y aireación, afectando procesos biológicos. La pérdida de materia orgánica ligada a las fracciones más finas, es otro problema del suelo inundado, asociado a la lixiviación de nutrientes. En estas zonas se impone *labranza superficial y vertical* para romper costras, compactaciones superficiales, favorecer el lavado de sales y la aireación. Estas deberán completarse con *rotación de cultivos* que incorpore cantidad elevada de rastrojo como *Zea mays* "maíz" y *Sorghum sp* "sorgo"; y también con alto contenido de lignina como el *Triticum aestivum* "trigo", a fin de incrementar la materia orgánica y protección del suelo. La aplicación de fertilizante permitirá restituir las pérdidas de nutrientes, principalmente de nitrógeno (N) y azufre (S) debido a las pérdidas de materia orgánica mencionadas.

Díaz-Zorita *et al.* (2000) para la zona oeste bonaerense, en suelos *Hapludol típico*, *Hapludol éntico* y *Haplustol típico*, recomiendan prácticas de manejo a fin de mantener o aumentar la materia orgánica de dichos suelos, ya que su productividad está relacionada con el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial (0.20m). El nivel de materia orgánica depende tanto de la textura como del manejo. El contenido de materia orgánica disminuye con el uso agrícola continuo y sistema de labranza que incluye arado de rejas, e incluso cinceles. Por el contrario, la pastura, y la siembra directa de cultivo anual de cosecha en *rotación con mayor proporción de cultivos de maíz y trigo que de soya o girasol*, tiende a incrementar el contenido de materia orgánica superficial de estos suelos. Asimismo, estos autores recomiendan la corrección de deficiencia nitrogenada con fertilización en sistema de siembra directa continua. Por último, indican que el manejo de estos suelos *bajo sistemas de siembra directa y uso de rotación de pastura con cultivo anual de cosecha* son las dos prácticas que permiten el desarrollo de sistema sustentable de producción agropecuaria en el oeste bonaerense.

A-7.6 Origen del esquema productivo agropecuario argentino

En este apartado, se completan aspectos comentados en punto 2.3.2.2 sobre **plantaciones forestales y cultivos que toman directamente agua de la freática; y se analiza el origen del**

esquema productivo agropecuario argentino como base para comprender las posibilidades de adopción de otras prácticas productivas, tales como la forestación y el silvopastoreo.

La inmigración en la Argentina, comienza lentamente en 1850, y ya para 1869, en el primer censo nacional realizado, la población total de la Argentina, ascendía a 1'737,000 habitantes, concentrados en su mayoría en la provincia de Buenos Aires, donde residía aproximadamente el 48% de la población extranjera. En un país esencialmente rural, la tierra se encontraba concentrada en pocas manos, a fin de revertir esto, durante la presidencia de Sarmiento (1868–1874) se comienza a crear colonias, en diferentes sitios de la pradera pampeana, y el país comenzó a tener un gran desarrollo agrícola. En 1876, se exporta 7,642 toneladas de maíz a Gran Bretaña, y en 1878, se realizó la primera exportación de trigo. La segunda etapa de la gran inmigración se inicia en 1880, ingresaban 10,000 personas por año, y a principios del siglo XX, 112,000, la mayor parte de los extranjeros provenían del sur de Italia, casi la mitad, la tercera parte era española y el resto se integraba por franceses, alemanes, rusos y polacos (La Guía2000, 2007).

Sanhueza (2002) señala que a partir de 1860 se suceden en la región dos procesos íntimamente ligados, cambia el perfil productivo nacional, y la composición socio-cultural de la población. Una economía de base ganadera se transforma en una economía agrícola-ganadera que permite una inserción del país en la economía mundial como potencia agro-exportadora en los primeros años del siglo veinte. Esta transformación según indica este autor, se asienta sobre el fenómeno de la inmigración que define un particular perfil étnico y socio-cultural en latino América. Esto se suma a los grandes conflictos sociales de la época, ya que se incrementan las tensiones entre una ganadería extensiva que enfrenta por primera vez la competencia de una producción alternativa, la agricultura, que disputa el mismo espacio con mayor rentabilidad. La ganadería hasta entonces, se encontraba en manos de unos pocos hacendados criollos, propietarios de las mejores tierras (grandes latifundios), que habían hecho fortuna durante las guerras civiles, ven ahora amenazados sus intereses por una nueva inmigración de origen europeo.

El modelo ideológico propuestos por los socialistas europeos, cuya idea central era el *asociativismo y la cooperación*, fue la base de la transformación de la Argentina de entonces, que no sólo alcanzó a las nuevas formas productivas sino que influyeron en la vida toda de la sociedad argentina, incluso en las técnicas de la ganadería y es por lo tanto que las secuelas y los beneficios de estas concreciones se han prolongado hasta nuestros días (Sanhueza 2002).

Sin embargo, este último proceso, positivo para forjar un país, estuvo sin embargo acompañado por otro por demás negativo, del cual hoy día se padece incluso con más fuerza, porque son también las bases con la que se forjó el país, orígenes que si bien comparte con tantos otros países latinoamericanos, no por ello la hace menos responsable, y que fueron las campañas militares conocidas como "*la Conquista del Desierto o Campaña del Desierto*", que estuvo en manos de diferentes mandatarios desde inicios del siglo XIX, pero tuvieron como principal mentor y ejecutor a Juan M. de Rosas (gobernador, 1829-1832 y 1835-1852,) y su seguidor Julio A. Roca, que consiguió exterminar a los indios, tal como él mismo propugnaba como objetivo (presidencias durante 1880-1896, y 1898-1904).

La Conquista del Desierto o Campaña del Desierto fue una operación militar llevada a cabo por gobiernos nacionales y provinciales argentinos, y por los colonizadores españoles que le precedieron, en contra de los **pueblos Mapuche, Tehuelche y Ranquel**, con el objetivo de obtener el dominio territorial de la Pampa y la Patagonia oriental, hasta entonces bajo control indígena. La Pampa y la Patagonia constituyeron una amplia región aborígen, que nunca pudo ser conquistada por los poderes imperiales europeos, y que desde el siglo XVII se fue

unificando bajo la cultura Mapuche. Recién a fines del siglo XIX, la Argentina y Chile, lograron ocupar la región mediante la guerra contra los indígenas (Wikipedia, 2007).

Esa expansión que tuvo en esos años la Argentina, y que es la base de un modelo agro-exportador que en parte aún hoy continúa, estaba basada en una peculiar dotación de factores propios y ajenos: grandes recursos agrícolas, sobre todo en la pampa húmeda, capital externo y amplia masa de población inmigrante. Desde el punto de vista de la inserción en el mundo, la Argentina se había transformado en un gran exportador de productos agrícolas e importador de manufacturas y bienes de capital, favorecida por una división internacional del trabajo cuyo eje principal era Gran Bretaña, la gran potencia hegemónica. Son entonces claros los motivos por los cuales la Argentina se transforma, y aun continúa, en un país donde las actividades productivas primarias son esencialmente agrícola-ganadero.

A-7.7 Potencialidad de la forestación en el noroeste bonaerense, y silvopastoreo

En este punto, se amplían los antecedentes vinculados a las especies forestales exóticas y nativas, recomendables para el noroeste bonaerense y sus efectos económicos y ambientales. Asimismo, se amplía sobre la práctica del **silvopastoreo**, especies arbóreas y vegetales posibles, productividad, manejo, ventajas y desventajas.

Galetti (2003b) indica la importancia que tendría el eucalipto de porte medio, ya que con unos 100m² de superficie foliar, la evapotranspiración media estimada puede ser de 0.5m³/día en primavera-verano. Así unas 10'000,000 de plantas constituirían lo que puede llamarse un *sistema natural de extracción* que evaporaría 5'000,000m³/día de agua, cerca de 60 m³/s. Esta cantidad de plantas cubrirían apenas unas 10,000ha. Para este autor, podrían ser implantado siguiendo líneas de forestación hacia el oeste y noroeste de las Encadenadas (al sur del sector de médanos longitudinales aquí estudiado) (Figura 2.1, 2.2, y 2.3) para interceptar el flujo subterráneo proveniente desde los extensos campos arenosos del norte; y de faldeos de las sierras y porciones de los arroyos que están por encima de los 200m snm y que avenan hacia lugares bajos. Además, debería forestarse un porcentaje de las regiones mal avenadas del resto de la provincia, a fin de aumentar la capacidad de absorción del agua de lluvia en todo momento. Se destaca que este autor, indica que además de la interceptación del agua de lluvia, la mejora en la infiltración producirá una posible disminución de picos del flujo superficial hacia las lagunas luego de lluvia importante; asimismo, indican que si bien una mayor infiltración aumentaría el flujo subterráneo, éste sería interceptado por la forestación aguas abajo.

Las especies que recomienda para implantar en la región son la *Casuarina cunninghamiana*, planta rústica, de follaje compacto, raíz pivotante y ramificada lateralmente por lo cual la distancia de plantación debe ser amplia (6x8 a 6x10m); *Eucalyptus camaldulensis*, *E. rudis*, *E. umbellata* y *E. viminalis* a 3x3m de distancia, destacándose que en general el eucalipto no adquiere buen anclaje y tiende a caer en la edad adulta, especialmente si ha estado bajo el efecto de inundaciones- La *Acacia melanoxylon*, de mucha menor altura que los anteriores, y los *saucos*, *Salix nigra* 4, clon son muy apropiados para forestar sitios con agua permanente denominados "*bajos dulces con espadaña*". El *Zizaniopsis bonariensis* implantado en suelo con pH ácido en superficie, y anegado, es de gran rusticidad y adaptabilidad al medio debido a un agresivo sistema radicular que le brinda gran sobre-vivencia y poder de colonización de la zona forestada, y *Salix matsudana x Salix alba* – clon 1,344, clon de sauce de mayor rusticidad que el anterior, adaptado para sobrevivir en suelo tipo "*bajo dulce*" (pH ácido en superficie) que presentan la particularidad de secarse durante la temporada estival; ambos son de follaje caduco (Galetti, 2003b).

En un trabajo previo, Esparrach (2000) para suelo bajo inundable, sin utilidad productiva, indica que se experimentaron 4 clones de Sauce, *Americano* (números 131-25, 131-2, 131-27) y *Salix nigra* 4, siendo este último el único que progresó luego de 4 años en condiciones extremas, de

anegamiento permanente e incluso con pajonal de espadaña (*Zizaniopsis bonariensis*, con 0.30-0.70m de agua en superficie) con el cual compite y conduce a una disminución de su vigor; de este modo los sauces actúan como biobombas, provocando que la espadaña deje paso a nuevas especies de mejor valor forrajero, lo que hace pensar en un posible pastoreo con vacas. Entre los eucaliptos, para el oeste bonaerense, recomienda el *Eucalyptus viminalis*, que se caracteriza por resistir grandes fríos (-15°C), posee madera blanca muy apreciada por el mercado. Sin embargo, con base en lo señalado por Nakama *et al.* (2000) esta especie sólo puede implantarse en los sectores elevados del relieve.

Nakama *et al.* (2000) establecen las zonas más apropiadas para la implantación de nueve especies de eucalipto en la región pampeana, en función del índice de aptitud climática (IAC). Este índice lo determinan a partir de cinco factores ambientales: distribución anual de lluvia, precipitación, días con heladas, temperatura media anual, y temperatura máxima media del mes más cálido. Para la región del presente estudio, se destaca el *Eucalyptus viminalis*, *E. tereticornis*, y *E. camaldulensis*.

El *Eucalyptus viminalis*, es una especie más apta para zonas con relieve positivo, ligeramente ondulado, suelo bien avenado (no tolera condiciones de avenamiento pobre a imperfecto), profundo ($>0.75\text{m}$), ligeramente ácido a ligeramente alcalino (no $\text{pH} >8$), moderada salinidad (no $>4\text{dS/cm}$), y la textura debe ser más gruesa que franco arcillosa en los horizontes o capas sub-superficiales (no muy finas). Con base en la condición climática (máximo valor del IAC), y suelo profundo, los mejores resultados se dan en el centro oeste y sudeste bonaerense. Sin embargo, debido a la resistencia a heladas y a condiciones de sequía permiten la expansión de la zona apta hacia el oeste de la región, por ello la zona noreste de La Pampa, sudoeste de Córdoba, y noroeste bonaerense, satisface apropiadamente los requerimientos climáticos de la especie. Para esta especie, se consideran buenos crecimientos entre $38\text{-}40\text{m}^3/\text{ha/año}$ (medidos en Bragado, 25 de Mayo) con condición climática favorable y suelo profundo.

Respecto al *Eucalyptus tereticornis*, si bien prefiere relieve ligeramente ondulado, suelo profundo, ligeramente ácido a moderadamente alcalino y moderada salinidad, tolera avenamiento imperfecto a pobre pero no encharcable, pH moderadamente alcalino (8.2 a 8.4), salinidad moderada (4dS/cm) y textura fina (franco arcillosa a arcillosa en horizontes o capas sub-superficiales), siempre que la profundidad del suelo sea $>1.0\text{m}$.

Si bien esta especie, se encuentra difundida en el norte y noreste de la provincia de Buenos Aires, por ser las zonas con condiciones más aptas para satisfacer sus requerimientos de crecimiento (alta humedad, elevada temperatura estival y baja tolerancia a heladas); podría plantarse en el noroeste bonaerense por lo indicado respecto a tolerancia edáfica, vinculada al avenamiento. No obstante, habría que definir, que finalidad va a tener dicha plantación.

El *Eucalyptus camaldulensis*, si bien desde el punto de vista edáfico posee preferencias de crecimiento semejantes a la especie anterior, es algo más tolerante a suelo con avenamiento pobre, profundidad mayor a 0.75m , resistente a $\text{pH} >8.6$, y fuerte salinidad ($>8\text{dS/cm}$) y a textura muy fina (más fina que franco arcillosa en horizontes o capas subsuperficiales), y se encuentra difundida en toda la provincia por su gran plasticidad climática, gran resistencia a heladas, déficit hídrico e hidromorfismo.

Por último, se destaca, que con relación al manejo silvícola, la plantación de eucalipto en la provincia, Nakama *et al.* (2000) señalan la importancia para todas las especies, de disponer de humedad del suelo en sus primeros estados, efectuar un adecuado control de malezas, y sanidad. En los años posteriores, el raleo (extracciones de plantas para ajustar a una densidad de plantación óptima por unidad de superficie), y la limpieza son importantes para un buen manejo del monte, especialmente para aquellos destinados a rollizos o maderas. Se destaca,

sin embargo, que en esta evaluación no están consideradas ciertas limitaciones ecológicas que pueden afectar la aptitud del cultivo de *Eucalyptus*, tal como el *abatimiento de la superficie freática*, rápida reducción de nutrientes, producción de toxinas que inhiben el crecimiento de otras plantas, disminución de la biodiversidad, entre otros.

En relación con la eficiencia en el uso del agua se destaca el trabajo realizado en suelos de tipo Argiudol típico en Santa Fe, Argentina por Rebori *et al.* (2002), quienes encuentran que el árbol *Eucalyptus dunni* fue cuatro veces más eficiente que el doble cultivo trigo/soya (2.2, 2.7 y 6.0gMS/kg de agua para el monte joven de 2 años, rebrote de 7 años, y trigo/soya, respectivamente). Así, para un período de 6 meses de cultivo trigo/soya el consumo de agua fue 10% mayor que el del monte de *Eucalyptus dunni*, lo que destaca la menor evapotranspiración de la forestación (esto se analiza con mayor detalle en punto 2.3.1.4). Estos autores destacan además, que a medida que aumenta la precipitación, se incrementa el consumo de agua en forma análoga para ambas masas forestales.

Galletti (2003b) señala que la forestación no compite con la actividad agrícola y ganadera actual, sino que se complementan, ya que sólo debería forestarse un porcentaje que surja de estudios adecuados, que se estima podría ser entre un 10-20% de la superficie propensa a inundarse, permitiendo aprovechar el campo con bajos topográficos con actividad más redituable que la actual, ganadería extensiva de baja receptividad en el mejor de los casos. Destaca, que debido a que la forestación requiere mano de obra intensiva, tanto en viveros como en el manejo del bosque, sería una *fuentes de trabajo importante*.

Por otra parte, las materias primas y productos elaborados, que tienen mayor valor de venta nacional y mundial, tendría un efecto multiplicador sobre la economía provincial, al generar diversa industria complementaria: aserradero, fábrica de elementos de madera (muebles, puertas, ventanas), fábrica de aglomerado para utilización de viruta y aserrín, fábrica de pulpa y papel; fabricación de carbón de leña. Todo esto abriría una perspectiva nueva a la exportación no tradicional. Asimismo, se destaca a la plantación por los servicios ambientales que representa el bosque, como sumidero de dióxido de carbono, y por otra parte, la sustitución parcial de combustibles derivados del petróleo.

Entre las consideraciones finales, se destaca que la forestación ha sido históricamente poco rentable en la provincia de Buenos Aires, habiéndose necesitado el subsidio por el estado; sin embargo, las grandes inversiones para el control de inundaciones tampoco han logrado solucionar el problema. Se comenta además, que puede existir la duda sobre cual sería el efecto de la plantación en época de sequía, tema que habría que analizar con mayor detalle y donde una buena parte de la respuesta se vincula al agua subterránea. Sin embargo, un manejo silvícola del bosque ajustado a ciclos climáticos sería una solución factible en época de secas (poda y tala controlada).

Galletti y Esparrach (2003) recomiendan también para el área de estudio, para sitios no muy húmedos, ni compactos, y sin exceso de salinidad, a la acacia blanca, *Robinia pseudo-acacia*, debido a que esta especie forestal es un claro ejemplo de integración productiva por el variado beneficio y producto que aporta a la diversificación de la empresa agropecuaria: obtención de postes, varillas, madera de aserrado, combustible; fertilizadora de suelo (aporte de nitrógeno, aproximadamente 50kg/ha/año); fijadora del suelo (evita erosión y es adecuada para la repoblación de cárcavas en suelos muy degradados, por su vigorosa capacidad de regeneración por brotes de raíz); melífera; forraje; integración silvo-pastoril (800 plantas por hectárea con pasturas de cebadilla criolla, *Bromus unioloides*); y como ornamental.

Otra especie que podría tener buen resultado en el área de estudio, para producción de madera (carpintería, mueblería, artesanados, culata para armas de fuego, estructura de embarcaciones, remos, mango de herramientas, pasta celulósica), en acciones silvo-pastoriles y como

mejorador de suelo (fijador de dunas, y de nitrógeno) es la *Acacia Melanoxylon R. Brown* (Acacia australiana, Acacia aroma, Aroma salvaje, Aroma negro). Esparrach y Galetti (2003) indican que es óptima para su establecimiento en el sudeste bonaerense, las características que describen como adecuadas se dan en el área del presente estudio. Así, se indica que es especie muy plástica a clima y suelo, en su zona de distribución natural la precipitación oscila entre 450 y 1,800mm, en régimen cálido hasta el templado frío, resiste las heladas intensas de -6°C sin sufrir grave daño. Se adapta a una gran variedad de *suelos* desde arenoso hasta el pesado húmedo y arcilloso aunque prefiere el suelto y arenoso. En las zonas propensas a inundar se comporta bien, siempre que el agua permanezca poco tiempo. Se destaca que en su lugar de origen (Sudeste de Australia y Noreste de Tasmania) la *Acacia melanoxylon* crece como sub-bosque de *Eucalyptus globulus* y otros *Eucalyptus* (*E. viminalis*, *E. camaldulensis*, *E. regnans*, *E. ovata*, *E. delegatensis*), y además se la puede encontrar asociada a especies del género *Nothofagus* (*N. moorei*, *N. cunninghamii*). En Chile se planta en forestaciones asociado a *Pinus insignis*, resultando en buen crecimiento.

Echeverría *et al.* (2006) analizan la potencialidad forestal de San Luís, provincia ubicada en una de las regiones semi-áridas-áridas de la Argentina. Indican un gran número de especies arbóreas exóticas y nativas como aptas para estas regiones con múltiple beneficio económico, ambiental, y social. Algunas de las regiones son comparables al noroeste bonaerense, con geomorfología de médanos longitudinales, depresiones y cubetas de deflación. A continuación, se indican especies que presentan alta resistencia a condiciones de suelo.

Entre las **especies exóticas**, se destaca al *Pinus halepensis M.* y *P. ponderosa*, ambas especies son elementos forestales de más consideración para regiones áridas y semi-áridas, pueden sobrevivir hasta con 250mm/año de precipitación, es resistente a suelo superficial, pedregoso, salitroso y alcalino, tiene limitaciones por frío extremo (si funciona el *P. brutia*) y granizo; en la patagonia Argentina el *P. ponderosa* es el que prevalece en estepas con precipitación de 400mm/año, en otros sitios hay plantaciones en suelo arenoso y clima semi-árido con éxito. Entre los eucaliptos destacan el *Eucalyptus camaldulensis* y el *E. viminalis*, el primero resiste a condiciones extremas de frío y calor, suelo variado incluyendo el superficial, compacto, arcilloso, pedregoso, de poca o nula permeabilidad, encharcado, alcalino y hasta moderadamente salino, indicándose que si bien no hay plantaciones de tipo comercial importantes podría ser promisoría en muchos sitios con condiciones climáticas y edáficas limitantes para otros usos. En relación con el *E. viminalis*, se indica que se da con éxito en el oeste bonaerense y noroeste de La Pampa (rendimientos de 13-18m³/ha) pero es menos resistente a la sequía, calor estival y salinidad que el *E. camaldulensis*, requiriendo suelo profundo, suelto, permeable y rico, excluyéndose el pedregoso, encharcado, compacto y salino. Entre los álamos, destacan el *Populus deltoides M.* que si bien es de zona riparia, en regiones áridas se encuentra en sectores con la superficie freática existente a baja profundidad (<3 m), y con un nivel estable; sin embargo, esto debe analizarse, en particular la fluctuación de la superficie freática y la resistencia de la planta a la misma, ya que no tolera inundación por periodos prolongados.

Asimismo, Echeverría *et al.* (2006) indican la importancia de incorporar **especies nativas** como especies forestales. Así, respecto a *Prosopis caldenia B.* (caldén), indican que no obstante que posee una gran importancia forestal se desconoce un manejo silvícola adecuado, propiciando que se desarrolle debido a su rusticidad (prospera donde otras no lo hacen por frío o precipitación, es típico de región semi-árida, prefiere terreno bajo y deprimido, arenoso y franco arenoso), uso industrial (madera, aún más resistente que el algarrobo de uso frecuente, para carpintería de alta calidad) y ganadero (el fruto es importante aporte alimenticio al ganado).

Bovino (2006) coincide con estos últimos autores en revalorizar al *caldén* para su uso forestal. Otra especie nativa, en sitios con precipitación entre 50-500mm/año, es el *Prosopis flexuosa*

(algarrobo negro-dulce). En la provincia de Mendoza, se indica que esta especie se haya asociada a la superficie freática, y que ha sido probada con éxito en forma experimental para fijación de médanos por sus características intrínsecas y por mejorar las condiciones ambientales para el establecimiento de otras especies (Dalmaso *et al.*, 1987; Villagra *et al.*, 2005, en Etcheverría *et al.*, 2006). Es una especie con múltiple utilidad: carpintería de calidad, combustible, melífera (elevada cantidad de néctar y polen). El *Prosopis chilensis* (algarrobo blanco), convive con el anterior, en grupos pequeños comparativamente con los grandes grupos que forma el algarrobo negro, aunque lo duplica en crecimiento. Así, es de rápido crecimiento con aporte de agua, sin perder su cualidad maderable, se caracteriza por comportarse como freatófita cuando la precipitación es inferior a 300mm/año, si bien no tolera condición de anegamiento y prefiere suelo franco arenoso, tolera bien la pedregosidad, el pH que varía entre 7.6 a 8.9, muy rico en Na, salino y degradado. En la Argentina, se encuentra muy distribuido por toda la región árida y semi-árida, en llanos, serranías, quebradas húmedas y margen de ríos.

Verga (2000) y López Lauenstein *et al.* (2005), indican la necesidad de mejorar especies de *algarrobo* para su uso comercial, destacan también al *Prosopis flexuosa* y *P. chilensis*, nativas de Argentina, distribuida en clima árido y semi-árido, en suelo salino y degradado. Así, indica que ambas son dos especies pioneras estratégicas que cumplen con requisitos para estructurar la base biológica de sistemas productivos sustentables y en la lucha contra la desertificación, por su alto potencial biológico para la diseminación, colonización, e hibridación natural. Se destacan además las siguientes cualidades: capacidad de fijar nitrógeno, desarrollan raíces profundas que le permiten tener cierta independencia de la precipitación para extraer nutrientes, evitan la competencia por agua con especies herbáceas, mejoran el balance hídrico del sistema, producen leña y carbón de buena calidad, madera de extraordinarias características física y mecánica, fruto de alto contenido proteico y energético que permiten su utilización como forraje e inclusive como alimento humano, y otros productos secundarios como postes, varillas, néctar, goma, etc.

López Lauenstein *et al.* (2005) destacan respecto al consumo de agua de los algarrobos, que *P. chilensis* (algarrobo blanco) tiene mayor crecimiento, por mayor peso foliar y tendencia a consumir más agua que *P. flexuosa*, en general aparece en ambiente con mayor presencia de agua, esta capacidad para aprovechar el agua cuando esta presente, es una ventaja adaptativa, mantiene mayor cantidad de hojas y consumo superior de agua con estrés hídrico moderado, pero con estrés grave tiene una caída drástica de crecimiento, posiblemente por agotamiento del agua, se la clasifica como especie "evitadora". Por el contrario, el *P. flexuosa* (algarrobo negro-dulce), ocupa sitios donde en general hay menor aporte de agua extra, sub-superficial, escorrentía, bajos, esto se corresponde con menor tasa de transpiración, menor peso seco foliar y menor consumo de agua aún cuando está presente. Así, estos autores señalan que ante estrés moderado la *P. flexuosa* deja de consumir agua, y disminuye su crecimiento, es una adaptación que tiende a preservar el agua del suelo, y puede tolerar periodos más largos de estrés hídrico. En relación con los híbridos de *Prosopis*, presentan comportamiento intermedio en consumo de agua y en crecimiento, si bien bajo estrés extremo superan a ambas en crecimiento. *P. flexuosa* e híbridos, son clasificadas como especies "tolerantes".

Por último, *Prosopis alba* (algarrobo blanco), se encuentra en zonas con mayor precipitación de 500-1,200mm estivales, y variación extrema de temperatura (48°C máxima y -10°C de mínima) , en relación con el suelo, la textura óptima es franco arenosa, tolera bajo nivel de salinidad, y soporta anegamiento temporal de 1 a 2 meses. Si bien su mejor desarrollo se da en presencia de la superficie freática profunda. Se lo encuentra en la zona serrana, en suelo con cierta pedregosidad o aluvional hasta los 1000msnm. El 60% de la madera de algarrobo que se utiliza en el país proviene de esta especie, además de sus buenas cualidades como madera, destaca su perfecta adaptación para sistema *silvopastoril* y *agroforestal*, ya que permite que pastura y cultivo prosperen bajo su dosel debido a que su sistema radical no es competitivo con las

gramíneas, el fruto es comestible para humanos y animales, se encuentra distribuido por todo el centro y norte de Argentina (Echeverría *et al.*, 2006).

De las especies de *acacia nativa*, destaca la *Acacia Visco*, como especie de rápido crecimiento, muy rústica, poco exigente en suelo, resistente a sequía y salinidad, por lo cual debería ser ensayada como forestal.

Estos últimos autores indican que la especie *Cercidium praecox* (brea), si bien es una especie de baja calidad maderera, se usa por todo el norte argentino para su extracción de goma que exuda, es una especie colonizadora y que podría ser utilizada para recuperar zonas degradadas y proteger cuencas hidrográficas.

La bibliografía generada en otros sitios, considerando los beneficios que reporta para el hombre y ambiente la biodiversidad, recomienda que proyectos de forestación y reforestación den origen a estructuras vegetales complejas, de masa arbórea mixta, conformadas por coníferas y latifoliadas. Hasta el momento no se dispone de tecnología desarrollada en Argentina acerca de la formación de bosque mixto, de las especies más convenientes ni del manejo silvícola correspondiente. Sin embargo, son cada vez más las acciones que pugnan por revertir esta situación, tal como se aprecia en los antecedentes presentados para el país (Echeverría *et al.*, 2006).

Sánchez y Vera (2005) analizan la viabilidad económica y social de plantaciones forestales, destacan la factibilidad y conveniencia de efectuar un gran número de especies exóticas tales como *Eucalyptus sp.*, *Populus sp.*, *Salix, sp.* En relación con especies nativas, indican que sólo el *Prosopis sp.*, (algarrobo) podría actualmente integrar proyectos económicos de envergadura en clima semi-árido-subhúmedo argentino. Asimismo, estos autores destacan las ventajas de especies nativas al ser cada vez más valorizadas en la producción de maderas de alta calidad para carpintería como en ejercer funciones de protección, social, turística, paisajística, en contribuir a la biodiversidad, así como albergar especies para la elaboración de medicamentos. Estos montes manejados correctamente son la base del asentamiento de población rural, generando mano de obra y desarrollo sostenible, especialmente apta para actividades complementarias, tal como silvopastoreo y agrosilvícola.

Monti (2001) para la cuenca La Picasa (colindante con el área de la presente tesis, al sur de la Provincia de Santa Fe, integrada por los distritos de Rufino, Amenabar, Lazzarino, Castellanos, Alvear) que también presenta cíclicamente períodos secos y húmedos (1912 a 1920 ciclo húmedo e inundación; 1920 a 1970 ciclo seco; 1970 a la actualidad ciclo húmedo que se agrava a partir de 1997) que generó en la actualidad gran exceso de agua, con elevación de la superficie freática y salinización del suelo; formula una propuesta de ordenamiento del uso del territorio con una visión integral que contemple aspectos ambiental, agronómico, hidráulico, vial, y socio-económico. Así, propone trabajar a nivel de micro-cuenca con la creación de *Áreas de Desarrollo Sostenible de la Cuenca La Picasa* (ADS's) constituidas por el gobierno y productores a fin de garantizar la recuperación social, económica y ambiental de manera sustentable. Propone que se sumen a las actividades imperantes en la región, cultivo de granos y ganadería, *la forestación y piscicultura*, indicando el tipo de suelo a utilizar en cada caso. Sin embargo, reconocen que el límite de cuencas no está definido pudiendo incluir nuevas zonas de aporte de agua, y no plantea el procedimiento de estudio de dichas zonas, por lo que la ubicación de prácticas agronómicas está sujeta a una gran incertidumbre en el mediano y largo plazo al considerar sólo el suelo superficial.

Sistemas silvopastoril

En el PMI (1999) se reportan experiencias exitosas de proyectos silvopastoriles en otras partes de la Argentina e indica las ventajas que su implementación tendría en la Cuenca del Río

Salado. Así, destacan un ensayo realizado por Acciaresi *et al.* (1994) a lo largo de cuatro años de ensayo con *Populus deltoides* Marsh. cv. *Catfish 2* como subsistema arbóreo, y una pradera dominada por especies indígenas y naturalizadas como *Bromus unioloides*, *Lolium multiflorum*, *Paspalum dilatatum*, y *Cynodon dactylon*. Los árboles se plantaron con densidad de 250 árbol/ha (superficie por árbol 40m²) hasta un máximo de 625árbol/ha (superficie por árbol de 16 m²/, distanciados a 4 x 4m). Los resultados encontrados mostraron que los sistemas de mayor densidad arbórea modificaron la llegada de la radiación solar, produciendo cambio en la cantidad y calidad de la pastura. Así, la cobertura y reserva forrajera logradas con 250 y 316 árbol/ha, se presentaron como adecuadas en detrimento de mayor densidad.

Asimismo, se destacan las ventajas ambientales, indicando que la pastura tiene mayor acceso al agua y no sufre la falta en épocas críticas ya que tiene menor temperatura crítica en el verano debido al efecto protector del canopeo forestal. La elección de especies que integran la asociación vegetación arbórea y herbácea, así como la densidad, deben ser ajustadas y manejadas en cada sitio. Se destaca, que en el informe del PMI (1999) que si bien los ensayos presentados son de un período de tiempo corto para lo que se pretende evaluar, no se indican las desventajas señaladas respecto a especies forestales por Jobbagy *et al.* (2006). Noretto *et al.* (2007), entre otros autores, tal como se describe en párrafos siguientes, en relación con la salinidad, alcalinidad.

Es evidente que los resultados que los diferentes autores obtienen se vincula al sitio donde las especies forestales son implantadas, en relación con las condiciones locales como tipo de suelo, profundidad a la superficie freática, si está en zona de recarga o descarga, aspectos que como se analizó en punto 2.3.1.1, sólo en algunas publicaciones se consideran por lo que se indica necesario establecer estas condiciones a fin de garantizar el éxito de estos sistemas productivos.

En relación con los *sistemas silvopastoriles* propuestos por diversos autores en párrafos anteriores con varias especies forestales, Suárez (2006) los analiza en comparación con los sistemas forestales propiamente dichos de la pradera pampeana. En promedio demoran aproximadamente 15 a 17 años para producir madera de calidad, siendo un manejo de tipo general, densidad de 1.1 plantas por hectárea, distanciadas a 3 x 3m, para llegar al final del ciclo con una densidad de 280 a 350plantas/ha, luego de un manejo intenso de extracción de plantas (raleos) para garantizar buen diámetro en el árbol y poda de ramas para garantiza troncos sin nudos. En general, este tipo de emprendimiento permite una recuperación económica intermedio durante el ciclo forestal. En consecuencia, con este tipo de actividad es factible pensar en integrar distintas actividades productivas que sean “complementarias”.

Sin embargo, el tener ganado sin efectuar un manejo del mismo, que contemple las particularidades del suelo, ha demostrado conduce a una reducción importante de su conductividad hidráulica hasta de varios ordenes de magnitud, propiciando una reducción en la infiltración de agua de lluvia, proceso que debe evaluarse con el detalle del caso si se busca una estancia de ganado entre 10 y 15 años. El soto bosque está integrado por pastizal natural espontáneo, favorecido por la baja densidad forestal.

Entre las gramíneas se citan: *Paspalum sp.* (pasto miel), *Bromus sp.* (cebadilla), *Lolium sp.* (ray grass), *Cynodon sp.* (pata de perdiz) y las leguminosas: *Trifolium sp.* (trébol blanco), *Lotus sp.* (lotus). Pastizales que no son competitivos, sino complementarios y sustentables con especies forestales tradicionales de la región Pampeana, *Populus sp.*, (álamo) *Salix sp.* (sauce), *Eucaliptus sp.* (eucalipto) y *Pinus sp.* (pino). Por último, se destaca que si bien es difícil evaluar económicamente estos sistemas productivos en forma combinada, tienen ventajas ambientales, y aseguran entrada económica durante el ciclo forestal.

Asimismo, Radrizzani y Renolfi (2004) destacan la importancia y ventaja de la implementación de sistemas silvopastoril en sitios semi-áridos argentinos, indicando que por ejemplo en Santiago del Estero, *Prosopis nigra* (algarrobo negro), con una densidad media de 220árboles/ha (DAP \geq 7cm) produjo en promedio 6,500kgMS/ha durante los primeros años de su implantación. A las ventajas que la protección arbórea ejerce, sobre la temperatura del animal se puede mencionar la calidad, la producción, y la perdurabilidad de la pastura, asociada al aporte de nitrógeno por el algarrobo estimada entre 100 a 400kg/ha/año, cantidades equiparables a una fertilización nitrogenada. Se agrega, reducir la salinidad de la capa superficial del suelo, reducir la evaporación y radiación solar directa, mejorar la infiltración del agua, y disminuir el nivel de la capa freática por extracción desde capas profundas. El sistema silvopastoril tiene una capacidad de fijar carbono significativamente superior a cualquier monocultivo de pasto y favoreciendo el aumento de la biodiversidad de flora y fauna silvestre.

A-7.8 Cultivos que toman agua de la superficie freática

En este apartado, se amplía lo comentado en punto 2.3.2.2, referido al consumo de agua freática por el cultivo de soya, en regiones semiáridas argentinas: Córdoba, sur de Buenos Aires, La Pampa, y San Luis.

Garnero y Alberto Quiroga (2003) en regiones semi-áridas de Córdoba (Argentina), con suelo *Haplustol éntico*, sin limitación mecánica para el desarrollo de la raíz en profundidad, encuentran mayor rendimiento en soya cuando la superficie freática se ubicó cercana a 1.50m (entre 0.80 y 1.75m) de profundidad durante casi todo el ciclo, no aportando agua cuando ésta se ubica a más de 2.00-2.50m. Estos autores indican que la profundidad efectiva de la raíz y el límite inferior del agua extraíble son las dos características a considerar a fin de establecer el efecto de un *déficit hídrico*. En el suelo estudiado, las raíces alcanzan profundidad variable según la especie (1.50m para el cachuate, hasta 2.70m para el girasol), y cultivos de soya (entre 1.40-2.30m), y el frente de humedad más cercano fue a 0.5m cuando la superficie freática se ubicaba a 1.3m de profundidad. Se destaca, que estos autores indican la necesidad de estudiar el contenido de SO₄ en el agua subterránea, que encuentran asociado con la rotación de cultivo siendo mayor con alfalfa.

En otra región de Buenos Aires, Coronel Suárez, Sá Pereira *et al.* (2005) encuentran en un relieve ondulado (loma, media loma, y bajo) con promedio de profundidad de suelo de 0.60 a 1.50m (presencia de tosca) y marcado déficit de precipitación en verano (diciembre, enero y febrero), que la soya en el bajo presenta mayor rendimiento al independizarse de la precipitación, y no sufrir el déficit hídrico que se da en la media loma con menor profundidad efectiva o sin superficie freática próxima. Estos autores indican la formación de una falsa superficie freática suspendida en el bajo sobre la tosca, cuyo origen lo atribuyen al agua caída directamente en dicho bajo más la que escurre de la loma y media loma. Así, el rendimiento de soya es en el bajo de 4,500 a 5,000kg/ha, mientras que en media loma de 1,500 a 3,600kg/ha, dependiendo en este último caso de la fecha de siembra. Se destaca que el suelo estaba bien provisto en materia orgánica, fósforo y pH ligeramente ácido, el agua de saturación en el suelo, en este caso es de lluvia, y consecuentemente de baja salinidad. El resultado sería diferente si la superficie freática fuese muy salina.

Martínez *et al.* (2006) en otras regiones semi-áridas de Argentina (Mercedes, San Luís) encuentran que los cultivos de soya de grupos de madurez II al V, presentan patrón de desarrollo y crecimiento muy similar a los que presenta en cultivo bajo riego, con muy alto rendimiento hasta 5,000 kg/ha, debido a la presencia de la superficie freática en la zona de exploración de la raíz (1.5-1.8m de profundidad y suelo de textura gruesa). Citan a Martini y Baigorri (2004) quienes indican que la superficie freática presenta poca variación ante

moderado exceso o déficit en el balance hídrico por tratarse de suelo arenoso (*Haplustoles ácuicos* y grupos indiferenciados de bajos).

Pergolini (2004) estudia la influencia de la posición en el relieve sobre las componentes del rendimiento del cultivo de soya, compara un bajo fértil y loma degradada de la localidad de Alvear, La Pampa (Argentina). La diferencia de rendimiento entre ambos sectores fue de 2,662 kg/ha, el cultivo rindió un 130% más en el sector de bajo que en el sector de loma (4,698 contra 2,036kg/ha). Este resultado muestra la alta variabilidad ambiental por relieve que puede existir en muchas zonas, la cual es importante conocer. Esta diferencia la atribuyen al cambio de todos los componentes que influyen en el rendimiento en grano, principalmente número de fruto y de grano por metro cuadrado, que son variables determinadas, en mayor medida, por factores ambientales (semillas/vaina y peso de grano estaría determinado genéticamente). Indican que otros autores (Board *et al.* 1999 en Pergolini, 2004) comparando tres tipos de ambiente, encuentran resultados semejantes.

ANEXO B

En este anexo, se amplían algunos de los temas presentados en Capítulo 4, sobre el **CLIMA**.

⇒ ANEXO B-1 Provincia de Mendoza

B-1.1 Precipitaciones

En la Tabla B1, se presentan los valores de precipitación mensual entre 1927 y 2006 correspondientes a San Rafael (Mendoza), medidos por la Estación Experimental INTA Rama Caída, Mendoza. En esta se indican los milímetros (mm) de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, total por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1927-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS), el cual como se indicó en materiales y métodos, representa el valor promedio del alejamiento de las observaciones y su media.

Tabla B1: Precipitaciones de San Rafael, Mendoza entre 1927 y 2006.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1927	25.5	11.5	40.3	3	1	0	0	11	20.5	43	13.5	49	192.8	18.3
1928	15.5	99	8.5	2	3	3	0	1	6	123	0	15	260.5	43.7
1929	71.8	13	0	0	0	7.5	0	43.5	6	5	22	0	97	13.4
1930	15	49	12	124	68	4	10	37	32.5	32.5	73	69.5	511.5	35.4
1931	35	25	40	12	22	5	12	15	12.8	22.2	36	26	228	10.7
1932	25	40.1	25.5	16.6	1.2	9	1.2	2.5	15	12	15.3	15.6	154	11.5
1933	8	1	25	1.2	15	3	2	0	32	59.1	12.5	11.2	162	18.1
1934	102	2	4	0	42	0	4	4.5	64.5	56.2	60.5	44.7	282.4	27.5
1935	14.5	15	0	0.5	0	0	6.5	0	25	80.2	5	9	141.2	23.7
1936	10.5	29	68	26.5	9	15.5	0	0.5	2.5	22.5	53.5	47	274	22.9
1937	74.7	2	0	65	24	27.5	3	7.5	0	40	8.5	0	77.6	40.9
1938	7	5	22.5	93	2	13	1	33	14	33	4	3	223.5	26.9
1939	26.5	16	22	0	0	13	0	7	27	44.5	3.5	94	227	28.0
1940	3	100	23	6	0	35	16	0	10	58	40	34	322	29.7
1941	100	33	97	47	28	57	16	16	5	2	14	10	325	28.2
1942	19	55	0	49	40	39	4.5	34	3	14	21	38	297.5	19.4
1943	42	11	69	23	90	17	12.1	3	13	85	34	47	404.1	31.4
1944	83	126	106	38	14	5	0	6	13	53	0	48	409	43.5
1945	81	54	0	16	0	0	0	2	11	11	55	49	198	23.0
1946	52	0	65	104	32	18	10	10	13	35	8	12	307	31.0
1947	5	37.5	9	5	0	0	22	7	15	0	20	30	145.5	12.8
1948	3	63	23	40	7	0	45	22	9	13	19	21	262	18.6
1949	5	16	9	0	22	0	21	33	122	33	52	17	325	34.2
1950	25	60	7	22	16	0	0	0	60	16	27	0	208	22.5
1951	33	14	71	36	8	0	8	2.5	0	0	32	62	233.5	25.6
1952	17	15	29	12	8	33	8	7	31	36	83	57	319	23.7
1953	17	4	2.5	15	0	4	6	4	12	71	53	31	202.5	23.5
1954	110	21	0	5	7	81	1	58	9	10	15	0	207	26.4
1955	41	12	7	14	48	0	14	5	0	180	80.5	28	388.5	53.7
1956	84	12	54	15	73	0	0	0	19	139	106	146	564	56.5

1957	5	40	64	19	26	60	2	0	31	28	66	70	406	25.2
1958	68	0	55	0	11	5	37	42	20	24	42	14	250	18.9
1959	53	10	0	82	24	28	17	25	8	88	44	78	404	31.8
1960	155	69	47	0	30.5	32	28	0	112	33.5	52	25	429	31.6
1961	45	36	30	10	23	0	0	10	42	17	30	25	223	14.1
1962	0	52	83	0	12.5	14.5	32	0	1.5	12	12.5	52.5	272.5	27.0
1963	24	101.5	50	2	0	0	8.5	0	87	77	20	87	433	41.6
1964	19	2.5	33.5	8.5	1	0	5.5	0	20	106.5	19	44.5	241	31.7
1965	55	0	41.5	6	16	13	2	9.5	12	31	38.5	24	193.5	14.3
1966	80.5	50	26.5	70.5	0	0	1	5	7	2	61	17	240	26.5
1967	37	15	54	0	7.5	6	26.5	0	5	23	36	31.5	204.5	17.3
1968	0	0	0	27.6	6	0	0	0.5	12	28.4	13.8	38.4	126.7	14.0
1969	52.1	20.1	19.5	0	5.2	9	0	9.3	3.5	11	9.5	94	181.1	26.6
1970	141	24	20	0	11.5	0	4.5	0	2.3	41.8	13.5	6.5	124.1	13.1
1971	28.5	21.9	8.8	9.8	0	0.8	0	23.8	0.9	3.3	0	0	69.3	8.9
1972	27.2	24.1	23.6	40.5	0	13.3	28	45.2	53.5	15.6	135.3	80.3	459.4	38.0
1973	19.4	13.4	160	28.5	0	25.5	30.7	0	12	32.2	57.6	31	391.1	44.5
1974	13.5	68.7	50.2	0	8.6	0	11	18.6	22.4	6.8	10.8	103.2	300.3	33.0
1975	24.7	158	81.8	11.5	27.6	7.8	1.7	30.7	67.5	0.6	110.6	3.5	501.3	52.5
1976	10.5	48.2	13.7	29	0.4	1.5	2.5	20.5	17.2	14	38.8	30.9	216.7	15.7
1977	80.9	38.5	14	2.3	9	11.9	13	0	5	26.2	2.2	65.2	187.3	19.6
1978	56.4	112.5	12.8	4	1	2.6	12.4	0	76.5	4	20.8	42.8	289.4	36.8
1979	147	70	20.2	45.5	1	63.6	19	10	23.1	6.9	34.3	29	322.6	22.4
1980	19.1	67.4	17	62.9	2	15.1	4	0	0	14.9	5.8	6.6	195.7	24.2
1981	65.1	40.2	10.3	17.9	11	3	3.5	24.9	11	26.5	40	1.8	190.1	13.9
1982	61.8	50.8	48.6	90.3	7.7	44.7	29.6	0	87.9	1.6	20.9	69.2	451.3	32.4
1983	117	10.2	25.8	40.8	6.8	35	0	65.1	20.8	7.1	25.5	47.5	284.6	19.9
1984	78	154.9	57.9	73.8	4	19.4	25.5	0	27.4	8.1	117.6	58.6	547.2	49.7
1985	127	20.2	23	17.3	0	0	50.3	0	29.9	29.6	67.5	25.6	263.4	21.1
1986	16	25	0	1.6	8.4	9.8	0	0	51.7	7.4	23.6	19.6	147.1	15.8
1987	26.5	14.3	69.9	7.3	53.9	1.5	9	9.8	4.5	9	67.3	34.8	281.3	26.2
1988	22.1	35.3	21.3	1	12	3.5	0	0	33.9	52	13.8	11.6	184.4	17.2
1989	75.9	19.5	2	0	18.5	3.5	1.8	24.6	0	30.5	48	39.9	188.3	17.2
1990	42.3	96.5	17.7	14.5	21	0	6.5	11.2	14.2	90.7	14.6	45	331.9	33.3
1991	55.5	56.4	19.4	9	8.7	1.3	37.8	13.2	31	33.4	54.5	46.2	310.9	19.3
1992	51.7	56.5	14.7	18.3	11.7	0.7	28.3	0	32.3	9.5	82.7	120.2	374.9	37.8
1993	78.4	54.1	57.7	36.2	14.7	5.5	1	31	19.9	85.9	8.4	21	335.4	26.1
1994	21	21.4	9	45.9	14	0	8.5	0	8	148.4	12.5	98.4	366.1	47.6
1995	45	47	37.2	3	10	0	1.5	4	14.3	32.5	73.5	7.8	230.8	23.7
1996	15.6	40	78.3	73.8	8.8	36.7	0	8.1	22	48.9	27	122.7	466.3	36.8
1997	122	5.5	42.5	0.5	18.1	7.5	8.5	10.2	7.8	29.9	43.8	124.2	298.5	35.5
1998	28.8	124.4	31.6	73.8	24.6	4.4	0	0	42.5	19.5	42.6	19.9	383.3	36.9
1999	43	67.3	54.5	57.8	6	9.9	12.5	43.9	68	95	107.3	24.2	546.4	34.2

2000	74.6	31.5	7	26.5	39.9	28.3	20	10.6	22.9	21.8	27.3	0.3	236.1	11.5
2001	53.6	186.8	87	32.7	11.3	1.9	9.2	7.1	77.3	65.2	12	16.4	506.9	55.7
2002	58.3	24.3	10	72.9	7.5	7.5	12.5	22.4	9.5	6.9	0	77.7	251.2	26.9
2003	14.6	7.4	13.4	27.9	1	0.3	0.1	0.3	10.2	8.4	40	5.5	114.5	12.8
2004	88	20.6	45.4	22.9	48.6	0	1.3	10.7	9.7	27.8	93	55.6	335.6	28.0
2005	26.9	83.7	35	11.3	4.7	1.6	12	23.9	12.8	34.3	18.5	12.8	250.6	22.9
2006	4	36.1	10.7	5	0	4	13.5	0	3.5	15.9	8.9	29.3	126.9	11.7
Prome dio	46.6	41.4	32.4	25.4	14.7	11.6	10.0	11.8	22.7	36.5	36.6	39.4	282.7	

B-1.2. El Niño y su incidencia a nivel mundial

En este punto, se describe el fenómeno de El Niño, y su manifestación a nivel mundial.

Uriarte Cantilla (2003) indica que el evento El Niño se caracteriza básicamente por un calentamiento anómalo de la superficie del agua oceánica tropical del Pacífico Oriental y particularmente, del litoral de Ecuador, Perú y norte de Chile. La anomalía térmica oceánica del Niño es acompañada por una anomalía en el campo de presiones. Por eso, al fenómeno del Niño, cuyo nombre original proviene de su presencia en la época navideña, también se le denomina ENSO o SOI (El Niño- *Southern Oscillation Index*). Durante un evento del Niño, los alisios, vientos que soplan del este hacia el oeste, debido a la inversión oeste-este del gradiente de presión desaparecen y son remplazados por vientos de dirección contraria. En el mar, una contracorriente ecuatorial proveniente desde el oeste acumula agua caliente en aquella zona y el nivel medio del mar frente a la costa sudamericana se eleva varias decenas de centímetros. La baja densidad del agua superficial impide en esa zona el afloramiento normal de aguas profundas frías y ricas en nutrientes, por lo que el fenómeno afecta gravemente a la pesca. Asimismo, detiene el avance hacia el norte de la corriente fría de Humboldt. Lo opuesto ocurre en el Pacífico Occidental. La temperatura superficial del mar disminuye en los mares de Indonesia y en el norte de Australia, y el nivel del mar desciende hasta casi medio metro en algunas áreas. Para cuantificar al índice ENSO suele utilizarse la anomalía del gradiente de presión entre Darwin (Australia), normalmente con presión relativa más baja, y Tahití, normalmente con presión relativa más alta. Actualmente se utilizan también otros índices.

Uriarte Cantilla (2006) presenta la *evolución de la temperatura media global* en la superficie terrestre medida con termómetros, y en la baja troposfera (entre 0 y 3.000m) medida por satélites desde enero 1990 hasta diciembre 2006. En la Figura B1, estos autores representan las diferencias de las temperaturas mensuales con respecto a las medias mensuales. Se observa una gran similitud entre las dos representaciones, siendo lo más notable el *descenso térmico ocurrido tras la erupción del volcán Pinatubo* (Filipinas) en junio de 1991, (mínimo en agosto de 1992) y el *ascenso de la temperatura media global durante El Niño de 1997-98* (máximo en Abril de 1998).

Este autor presenta además, las diferencias que se producen en la evolución de la temperatura media global entre el hemisferio sur y el norte. El Hemisferio Sur el calentamiento es menor, y en los últimos meses su comportamiento se separa mucho del comportamiento del Hemisferio Norte. Se indica, que la desviación de la temperatura global del mes de Junio de 2006 en el Hemisferio Norte ha sido muy elevada, tan sólo superada en Abril de 1998 por causa del Niño. Se observa que los dos hemisferios respondieron casi al unísono a las perturbaciones de la erupción del Pinatubo en junio de 1991 (enfriamiento), y al intenso Niño de 1997-98 (calentamiento) (Figura B2).

Un análisis histórico del fenómeno del El Niño, y otros fenómenos naturales, es el efectuado por Usselman (1997) para las regiones andinas. Este autor indica que la superficie terrestre

constituye un conjunto cambiante donde las dinámicas externas, pero también internas, están continuamente trabajando para dejar sus huellas en los paisajes. Algunos cambios que inciden son extremos y prácticamente instantáneos, tal como los sismos de los Andes de Ecuador en 1987, Perú en 1970, Chile en 1962, y las erupciones volcánicas en Colombia en 1985. En otras oportunidades, las modificaciones pueden ser más largas, de una duración de algunos meses hasta algunos años, que es el caso del fenómeno del Niño. Este fenómeno es planetario y existe de manera muy visible en los Andes y sus alrededores, y *ha sido registrado desde hace siglos*.

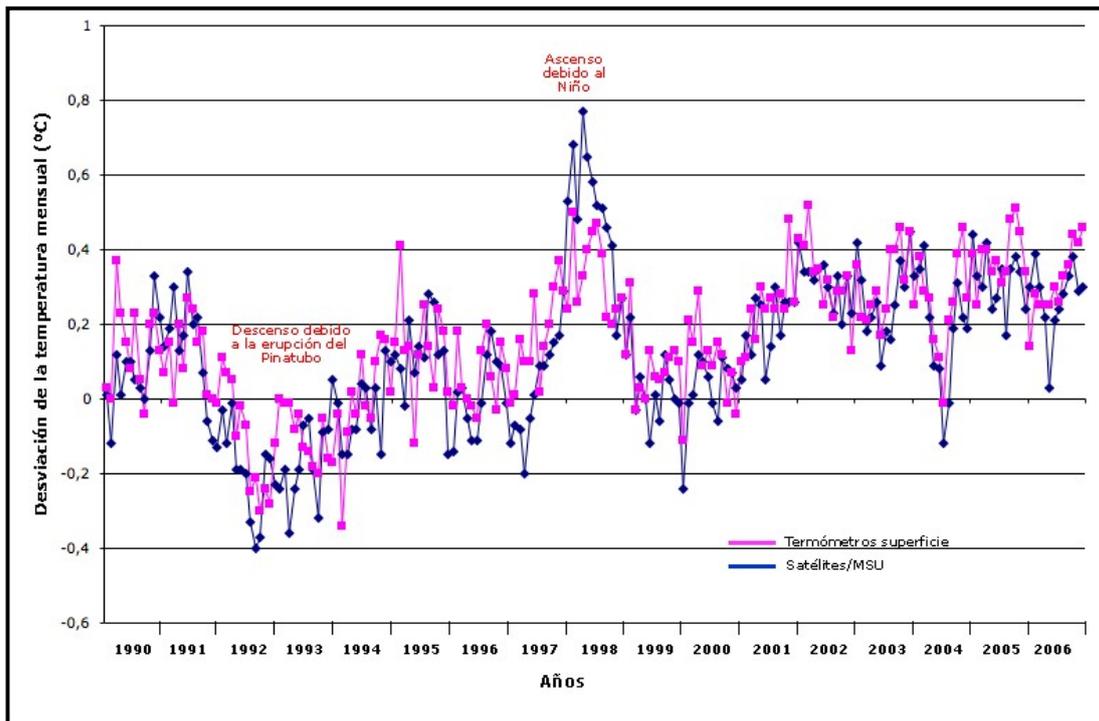


Figura B1 Evolución de la temperatura media global en superficie medida con termómetros (línea rosa fuerte) y en la baja troposfera (entre 0 y 3,000m) medida por satélites (línea azul) desde enero 1990 hasta diciembre 2006 (extraída de Uriarte Cantilla, 2006).

En general llaman más la atención al ser un tipo de cambio climático-ecológico cíclico y se encuentran ahora ligados con modificaciones que afectan el conjunto del Pacífico con consecuencias planetarias. Usselman (1997), cita el trabajo de Hocquenghem *et al.* (1992) quienes encuentran que luego de un examen crítico de los datos asequibles, han propuesto una relación de los acontecimientos ENSO "averiguados" entre los siglos XVI y XIX. Los resultados indican tres manifestaciones muy fuertes (1578, 1728, 1891), doce manifestaciones fuertes (1593, 1596, 1624, 1686, 1701, 1720, 1747-1748, 1791, 1828, 1871, 1877-1878, 1884) y cinco moderadas (1574, 1803-1804, 1814, 1844-1845, 1864), es decir veinte acontecimientos ENSO comprobados, reduciendo en mas de la mitad las estimaciones de otros autores (Quinn *et al.*, 1987). Los acontecimientos El Niño se caracterizan por aumentar la precipitación en diferente magnitud, en la costa Sur del Ecuador y Norte del Perú, pero también en el litoral Sur; se producen varias veces en un siglo y presentan intensidades y duraciones variables, desde algunos meses hasta dos años. Sus consecuencias pueden ser modificaciones profundas de los perfiles de fondos de valles, y principalmente de los cauces fluviales habiendo llegado a provocar un abandono definitivo de sitios urbanizados.

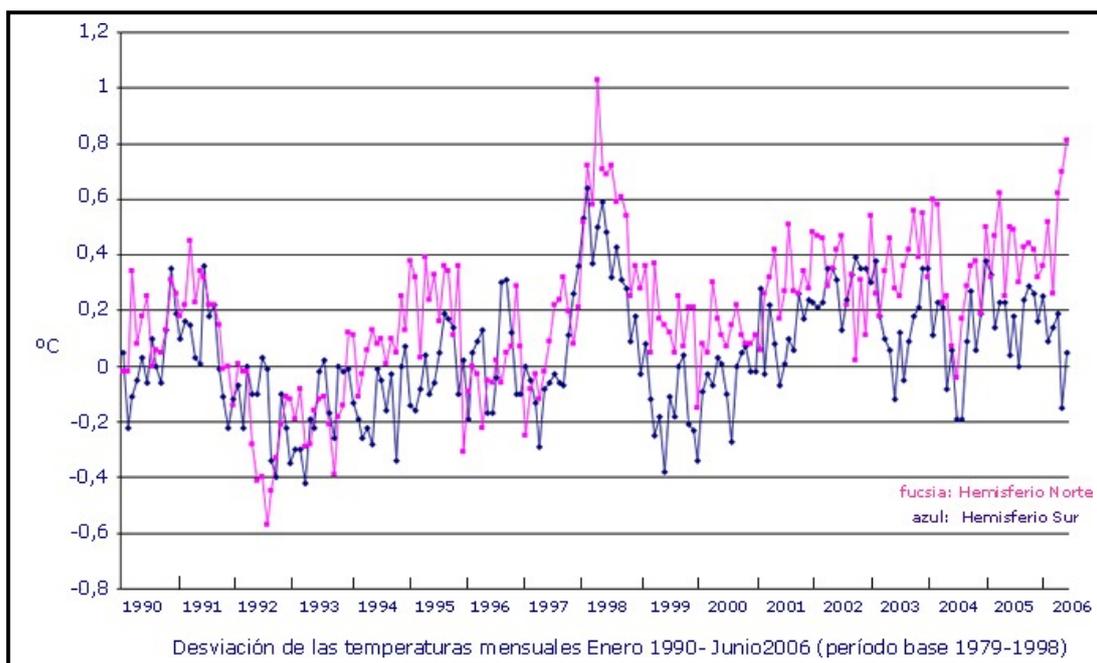


Figura B2 Evolución de las desviaciones de las temperaturas mensuales de la baja troposfera para el hemisferio norte (rosa fuerte), y para el hemisferio sur (azul), desde enero de 1990 a junio de 2006. Los valores son las desviaciones con respecto a las medias mensuales del período de referencia 1979-1998 (extraída de Uriarte Cantilla, 2006).

⇒ ANEXO B-2 Provincia de San Luis

B-2.1 Clima y aumento de precipitación en San Luis

En este punto se se presentan antecedentes sobre el clima de San Luis, y se describe el corrimiento de las isohietas según los siguientes autores: Del Vitto *et al.* 1993, en SMN 2007; Berton *et al.* en Etcheverría *et al.*, 2006; Collado y Hellmers, 2003; y Garay y Veneciano, 2005.

Del Vitto *et al.* (1993) en SMN (2007) define para la provincia diferentes regiones climáticas, de las que se destacan por su vinculación con el presente estudio a dos regiones: i) *Templado sub-húmedo serrano* en el Noreste, sobre las sierras y el valle de Concarán, con precipitación de 500-700mm y evapotranspiración potencial mayor que la precipitación; destinado a actividades agrícolas sin riego; ii) *Templado semi-seco de las planicies*, presente en el sector central de la provincia y en una faja entre las sierras de San Luis y las del Noroeste, donde la precipitación alcanza valores de 300 a 500mm anuales, y se caracteriza por la actividad ganadera cada vez más extensiva (ganado a campo, con escasos cuidados) hacia el oeste a medida que disminuye la precipitación.

La provincia se caracteriza por vientos frecuentes y a veces permanentes durante varios días, pero con una frecuencia variable según la estación. La precipitación se sucede con mayor frecuencia e intensidad durante el verano, tanto en las sierras como en la llanura, con un promedio anual de 450 a 500mm, mientras que en el invierno es escasa (entre 20 y 30mm) y a veces nula.

Como se indicó en punto 2.1.5.1, Berton *et al.* (en Etcheverría *et al.*, 2006) para la provincia de San Luis, y provincias vecinas indican el corrimiento de las isohietas desde 1950, con mayor

precipitación, que afecta a cerca de 4 millones de hectáreas, donde actualmente la precipitación anual es mayor a 500mm en los últimos 50 años.

Asimismo, se produjo el corrimiento del índice de aridez de la provincia hacia el oeste, que tuvo su correlato con la agriculturización, y aparición de nuevos paisajes agrícolas en San Luis (Collado y Hellmers, 2003). Estos autores, destacan sin embargo, que la aleatoriedad de las lluvias es importante, lo que limita la producción de los cultivos que varía entre años de acuerdo al agua existente cobrando así interés el aprovechamiento para riego de los recursos hídricos subterráneos y superficiales.

Garay y Veneciano (2005) destacan el aumento de la precipitación que se manifiesta en San Luis desde 1950. Para Villa Mercedes, en el sur de San Luis, se indica que la media de 1903-2004 es de 600.1mm (desvío 148.2mm), siendo los valores anuales de precipitación a partir de 1950 siempre superior a 600mm, y a partir de 1975 la mínima anual fue siempre superior a 500mm, con excepción del año 2003 que disminuyó a 439.8mm. La precipitación se distribuye para el periodo 1903-2004 en un 78.5% en los meses cálidos de primavera y verano, y el 21.5% restante en los meses fríos.

B-2.2 Precipitaciones

En la Tabla B2 se presentan valores de precipitación mensual, y anual de la ciudad de Villa Mercedes, al sur de San Luis, entre los años 1968 y 1981; y entre 1994 y 2005.

Tabla B2 Precipitaciones en Villa Mercedes

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1968	0	0	96.5	20.6	1.9	29	4.3	43.4	9.8	69.3	64.6	144.2	483.6
1969	64.7	27.5	64.9	31.5	52.6	41	1.5	3.7	3.7	6.8	87.2	59.4	444.5
1970	135	77.7	62.5	0	18.2	8.9	0	0	13.5	39.7	31.4	51.7	438.6
1971	168.5	37.2	97.2	69.8	0	1.6	0	0	0	0	0	0	374.3
1972	0	0	0	0	0	7.8	13	89.1	43.5	18.4	145.7	109.3	426.8
1973	131.3	18.9	189	21	0	17	26.2	0	5	45.2	74.5	75.7	603.4
1974	74.3	132.4	81.4	0	58.7	1.1	0	0	0	0	0	26.8	374.7
1975	120.1	63.1	262	22.6	44.7	5.7	0	0	0	40	61.4	37.6	656.7
1976	40.8	63.6	34.2	54.9	31.3	0	2.3	28.4	80.6	12.5	81.7	0	430.3
1977	90.9	47.4	52.6	13.6	0.6	25	2.6	2.5	2.2	77	27.6	121.4	463.4
1978	115.4	171.4	99.4	12.7	0	0	17.2	1.4	54	16.7	52.4	136	676.6
1979	218.1	277.9	31.5	117	17.6	74.1	21.9	17.5	13.5	21.9	64.7	117.4	993.3
1980	73.9	0	0	0	0	0	0	0	0	82.7	28.6	103	288.2
1981	153.4	21.4	78	74.8	6.7	1	3.7	7.3	11.4	28	122.8	57.4	565.9
1994	106.5	65.9	58.8	70.2	17.5	6.1	4.6	29	26.9	10.1	123.2	73.2	592
1995	122.5	77	153	26.7	23.5	0.3	1.1	1.5	15.5	12.4	99.5	47.5	580.3
1996	77.7	172.1	34.8	107	12.9	6.9	0	1.2	9.6	44.2	77	157.2	700.2
1997	114.4	60.6	43.2	4.1	32.2	7	26.2	6	31.9	79.8	53.4	241.1	699.9
1998	73.3	210.9	38.4	109	38.7	3.2	1.5	9.1	75	24.7	137.8	52.5	774.3
1999	98.2	55.2	133	99.1	8.6	10.3	24.7	23.6	19.8	42.3	166.6	197.9	879.7
2000	137.8	50.3	74.3	111	53.5	11.1	19	2.3	3.1	75.2	64.4	30.8	632.7
2001	102.2	28.6	109	154	4.2	7.4	1.2	6.4	154	135	21	125.4	848.2
2002	176	75.4	93.6	30.8	56	1.6	4.4	63	4	51.4	35.6	156	747.8
2003	127.6	65.1	23.2	83.4	5.8	0.8	41.8	4.6	3.4	10.6	14	59.5	439.8
2004	113.8	121.2	107	41.2	208.2	0.8	39	3.2	0	81.6	72.6	59.2	848
2005	144.4	39.8	98.6	64	16.8	7	10.8	27.4	10.6	22.2	106.1	45.6	593.3
Promedio	107.0	75.4	81.4	51.5	27.3	10.6	10.3	14.3	22.7	40.3	69.8	87.9	598.3

⇒ ANEXO B-3 Provincia de La Pampa

B-3.1 Precipitaciones

En la Tabla B3, se presentan los valores de precipitación mensual entre 1910 y 2006 correspondientes a Anguil, La Pampa, medidos en Estación Experimental INTA. En esta se indican los mm de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1910-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS).

Tabla B3 Precipitaciones de Anguil, La Pampa entre 1910 y 2006.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1910	9	19	41	61	3	3.5	2	0	22	51	26	9	246.5	20.6
1911	18	75	63.5	56	34	0	3	7	29	44	127	84	540.5	38.1
1912	50	75	39	16	9	32	0	21	32	72	41	60	447	23.9
1913	11	85.5	48	69	38.5	7	0	14	71	19.5	26	68	457.5	29.4
1914	47	88	29	159	81	0	27	9	57	132	89	185	903	59.0
1915	91	76	25	20	15	0	0.5	0	31	195	25	62	540.5	55.9
1916	88	22	33	69	0	0	6	90.5	12	29	52.5	37.5	439.5	32.1
1917	27	132	78	173	0	60	52	0	48	40	60	34	704	50.3
1918	96	83	161	15	5	20.5	0	45	69	230	138	11	873.5	72.6
1919	98	131	174	169	89	54	106	0	66	78	52	26	1043	53.0
1920	113	128	86	75	0	4	0	33	42	81	106	133	801	49.6
1921	50	144	76	8	4	1	9	0	70	214	24	149	749	71.3
1922	65	58	38	25	33	85	12	2	43	105	126	65	657	37.1
1923	19	61	75	12	20	38	21	105	25	87	76	91	630	33.5
1924	31	36	53	62	0	14	0	0	28	15	7	74	320	25.4
1925	16	162	151	0	56	0	37	13	78	48	91	106	758	55.6
1926	38	72	204	96	37	20	28	42	0	59	98	48	742	53.3
1927	105	12	45	0	2	5	12	33	5	90	170	64	543	53.1
1928	34	22	73	63.8	45	13	6	3	52	45	51	37.2	445	22.3
1929	88	39	47	27	24	18	0	0	6.5	100	79	32	460.5	34.0
1930	8	78	63	31	43	63	0	35	9	65.5	27	189	611.5	50.3
1931	187	48	51	46	0	0	38	23	8	31.5	56.5	38	527	49.1
1932	22.5	99	93.5	2	15	1	5	55	46	82	29	61	511	35.6
1933	70	122	139.5	0	48	7	4	5	60	23	14	83	575.5	47.9
1934	65	3	88	7	2	4	2.5	43	58	181	219.5	97.5	770.5	72.8
1935	64	18.5	9.5	5	7	7	2	19	5	78.5	64	129.5	409	40.6
1936	25	128	4	84	18	8	10	8	15	45.5	81.5	99	526	43.0
1937	10	27.5	98	20.5	110.5	3.5	1.5	3	9	28	24.5	17	353	36.3
1938	43	60	103	181	59	1	17	20	4	22.5	67	6	583.5	51.9
1939	52.5	41	44	7	72	36	11	7	82	101.5	54	38	546	29.6
1940	44	109	67.5	23	7	99.5	17	44	39	50	61.8	143.5	705.3	40.5
1941	89	93	113	22	1	8	33	27	2	36	57	61	542	37.5
1942	42	192	26	11	19	1	21	16	10	38	74	140	590	58.8

1943	7	38.5	110	32	57	66	79	2	11	169	111	38	720.5	50.2
1944	118	110	105	114	27	4.8	0	0	16	173	17	39	723.8	59.6
1945	72	171	80	95	0	0	13	26	23	51	29	21	581	49.5
1946	48	45	124	140	59	105	10	8	35	48.5	34	136	792.5	47.5
1947	35	117	164	38	6	9	6	4	17	46	37	0	479	50.5
1948	100	10	70	20	150	0	6	19	97	44	0	75	591	48.8
1949	31	48.1	48	7	7	5	12	34	14	6	40	38	290.1	17.2
1950	0	7	60	37	28	0	10	0	40	32	52	23	289	20.9
1951	116	49	23	12	49	25	19	9	0	10	54	68	434	32.9
1952	28	6	41	0	1	94	0	18	80	119	14	11	412	40.9
1953	41	46	119	79	19	2	0	0	34	74	42	70	526	36.7
1954	16	26	102	278	37	46	20	6	50	63	37	27	708	73.4
1955	67	270	52	96	20	13	115	0	7	25	86	47	798	74.0
1956	71	33	0	136	0	15	4	45	28	128	75	15	550	47.4
1957	21.2	11.4	207	73	64.5	109	0.5	3	29	80	39	263	900.6	82.7
1958	126	6	22	29.9	25.3	3.4	90	3.8	105.5	10.5	78.5	42.3	543.2	43.3
1959	123.3	15.8	103.6	34	11	50.3	10	11.6	25.2	116.9	74.8	35	611.5	42.8
1960	61.3	88.5	92.3	2.6	6.7	21.7	51.3	0.5	74.1	67.2	2.1	37.6	505.9	34.9
1961	81.6	51	46.3	38.6	11.4	17	15.9	51.5	17.7	88.3	76.2	21.5	517	27.5
1962	0	0	90	50.1	23	0	38.2	30.5	33.9	18.7	66.9	87.3	438.6	31.8
1963	34.7	98.2	219.6	118.4	4.4	29.1	9.4	12.4	93.5	105.5	143.3	253.4	1121.9	82.0
1964	42.9	74.8	70.8	62.4	27.4	1.6	6.5	3.6	70.4	9.9	100.9	30.4	501.6	33.5
1965	102.4	57.6	8.5	51.2	15.1	31.2	3.5	7.3	0.8	15.6	174.8	110.3	578.3	54.7
1966	127.9	39.8	48.2	98.3	14.3	7.9	54.5	6	2.9	8.2	114.3	65.2	587.5	44.5
1967	48.8	109.3	16.9	49.8	30.5	4.4	11.9	8	15.4	144.1	50.7	83.9	573.7	44.1
1968	47.8	48.2	196.9	1.9	0.2	24.1	38.4	74.3	52.6	78.8	143.1	116.4	822.7	58.4
1969	54.9	82.6	179.5	106	50.1	20.5	0	0.9	51.2	25.8	173.2	82.5	827.2	59.8
1970	162.7	70	96.2	6.3	7	0	1.9	0	49.6	79.1	45.1	108.2	626.1	52.7
1971	43.5	31.6	42.3	28.5	77.9	5.8	7.6	52.1	88.9	46	59.7	46	529.9	24.6
1972	69.3	22	70.7	103	0	28.6	7	32	46.3	49.5	254.4	101.9	784.7	68.2
1973	109.9	120.6	175.7	62.9	3.5	92.5	6	1.8	8.9	197.7	45.3	153.2	978	70.7
1974	88.4	144.2	83.7	9.4	83.3	14.5	4.1	0	10	51.3	57	69.6	615.5	44.8
1975	80.6	77.8	167.4	61.7	36.6	66.4	0.7	8.3	71.5	29	41	50.5	691.5	43.2
1976	94.6	139.8	40.1	82.1	5	5.4	5.7	75.5	9.9	94.7	158.1	74.5	785.4	52.9
1977	56.5	157.3	70.3	24.4	7.5	26.6	2	15.6	0.8	76.7	65	247.5	750.2	73.2
1978	42.5	40.3	51.1	15.1	5.6	3.7	40.7	11.2	58	38.2	103.5	194.8	604.7	53.2
1979	65.1	49.9	160.2	11.5	32.3	43.2	2.5	9.7	22.3	106.3	78.2	145.8	727	52.8
1980	6	74.1	6.1	96.2	72.9	5.7	21	0	14	63.8	118.3	139.9	618	49.2
1981	42.3	22.8	36.2	86.1	70.6	18.1	3.3	1.1	26.6	43.3	86.9	66	503.3	29.8
1982	73	46	110	132.2	58.6	18.3	8.3	0	75.3	52.4	67	51.1	692.2	38.7
1983	139.1	55.1	116.5	97.8	45.9	12.7	0	88.7	4.9	72.3	30.5	88.3	751.8	45.3
1984	91.3	88.4	77.3	33	5.9	8.8	11.8	33	121.7	39.1	117.8	57.3	685.4	41.5
1985	183.7	59	44.3	53.8	5.9	1.9	207.4	0	36.9	160.1	125.9	114.5	993.4	73.1
1986	189.4	72	88.2	130.8	8.3	16.8	0	26.4	53.9	51.1	62.8	75.2	774.9	54.0

1987	167	75.1	213	65.7	3.1	0	59.7	103.7	20.1	55.2	128.5	61.7	952.8	64.4
1988	22.2	161.1	93.5	42.8	13.8	14	0.6	10	101.9	8	115.4	43.6	626.9	52.6
1989	42.5	44.5	175	1.1	48.2	5.1	54.1	57.9	15.8	42.4	48.5	107.9	643	47.3
1990	51.2	82	22.6	31.6	123.4	0	10	0	60.3	69.1	40	48.2	538.4	36.1
1991	137	92.3	62.7	12.6	41.1	59.1	12	54.1	107.1	99.3	119.9	299.3	1096.5	76.7
1992	170.3	78.5	177.1	25	63.2	33.9	3.8	90	71	5	108.8	175	1001.6	63.5
1993	121.7	67.6	168.5	70.6	55.1	21.4	2.6	0	16.5	63.3	133.5	48.2	769	53.4
1994	152.8	83	58.3	19.7	103.9	12	35.5	55.5	1.5	61.4	41	77.4	702	42.3
1995	56.8	32	124.5	69	8.2	2.5	0	7.5	13.5	87	31.7	38.5	471.2	38.6
1996	101.2	153.2	104	80.5	22.5	11.6	9.5	29.5	26.5	54.5	106	366.5	1065.5	98.7
1997	128.8	14.5	155.5	26.5	61	162.5	52.8	7	11.6	118.7	49.5	85.5	873.9	56.4
1998	142	164.5	13	123	34	15.5	19	13.5	65.5	52	74.3	58.8	775.1	52.5
1999	77.5	73.7	211.3	155.2	17.4	18.5	8	7	53.6	96.2	146.2	73.5	938.1	65.0
2000	164	139.2	112	34.5	104	9.7	6.3	35.7	38.1	203.1	50.5	9.5	906.6	66.8
2001	88.1	181	216.5	172.5	4	5.9	4.9	17.7	129.5	200	94	35.5	1149.6	82.2
2002	203	21	85.4	96.4	32	11.2	8.3	82.5	34	65	50.5	73.5	762.8	53.2
2003	34.7	20.8	78.1	51	15.9	1.8	2	13.8	11.9	51.9	74.7	93	449.6	31.6
2004	48	81	90.3	80.2	5.3	4	108.7	32.5	7	109.4	109.6	138.2	814.2	47.0
2005	147.5	23.1	106.7	0.7	16.7	18.2	9	27.7	62.3	40.8	23.8	67	543.5	43.8
2006	99.2	86.7	104	25.5	0	3.6	5.8	30.5	12.5	106.3	19.4	68.8	562.3	42.7
Promedio	73.5	73.7	89.1	58.1	30.3	21.6	19.1	22.0	38.3	73.3	74.7	83.2	657.0	48.8

B-3.2 Evolución del clima de la provincia de La Pampa

En este apartado, se presentan las conclusiones dadas por diferentes autores en Castaldo (2003), sobre los cambios en el clima de La Pampa.

Roberto *et al.* (1994) quienes estudiaron el cambio ocurrido en el régimen de precipitación de la Región Pampeana Argentina y encuentran que a partir de la década de 1970 ha habido una tendencia positiva en la cual se ha observado el aumento de la precipitación.

Sierra *et al.* (2001) detectaron durante los eventos ENSO incrementos en las lluvias en el total de la campaña agrícola, en especial en el trimestre de noviembre-diciembre-enero, para la región centro este de la provincia de La Pampa. Casagrande *et al.* (2000) *establecieron tendencias positivas de la precipitación* (1921-1998) en la región centro este de la provincia de La Pampa para el trimestre de *noviembre a enero*, y los meses de *febrero a junio* en conjunto.

El diagnóstico efectuado sobre la situación de la región NE de La Pampa (Danish Hydraulic Institute, 2000) muestra coincidencia con los trabajos citados anteriormente observando un primer período más seco 1921-1970 y luego un período más húmedo hasta 1999. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido del manejo de la información realizado para la presente tesis.

Castaldo (2003) agrupa los valores de precipitación media anual, para obtener un promedio medio anual para cada uno de los siguiente períodos: **1921-1999**, 691mm; **1921-1970**, 603mm; **1971-1999**, 850mm, por lo que la diferencia entre los dos períodos 1921-1970 y 1971-1999, es de **247mm**. Esto es coincidente con lo obtenido a partir de los datos de la Tabla B3, Anexo B-3, para la localidad de Anguil, obteniéndose para el *primer periodo*, un *promedio algo inferior* 592mm, y para el período 1971-1999 de 756.5mm, promedio que se mantiene si además se agrega los valores de los últimos años, periodo 1971-2006, 753.6mm. La diferencia que resulta

entre ambos periodos es este caso, es de **191mm**. Estas diferencias, son próximas al que posteriormente se presenta para los partidos del presente estudio, noroeste bonaerense (ver precipitación en Pehuajó y Trenque Lauquen).

Castaldo (2003), también calcula a partir de las anomalías, los periodos secos y húmedos, sin embargo, el criterio que utiliza no le permitió definir periodos secos entre 1971-1999, hecho que no ocurre al calcularlos según procedimiento como los de la presente tesis (García y Hernández, 1988).

Se destaca que el incremento de la precipitación y las características geográficas de la región provoca inundaciones en el noreste de La Pampa, que no sólo afectó la producción si no también las zonas urbanas.

Así, el INTA Anguil, indica que para el año 2000 la superficie de inundación fue de aproximadamente 198,000ha, de estas, aproximadamente 130,000ha se encuentran bajo agua, y las 68,000ha restantes tienen el nivel de agua cerca de la superficie, impidiendo las labores agrícolas. Al igual que la provincia de Buenos Aires, el gobierno provincial, implementa un sistema de canalizaciones a fin de controlar las áreas afectadas por inundación (Castaldo, 2003).

⇒ ANEXO B-4 Provincia de Córdoba

B-4.1 Río Quinto, recorrido e incidencia en el noroeste bonaerense

En el punto se describen las características del Río Quinto, y como este incide en la provincia de Buenos Aires, en la región del presente estudio.

El **Río Quinto** durante largos periodos es parte de una cuenca endorreica y en ciclos húmedos llega a formar parte de la exorreica Cuenca del Plata (Río de La Plata). Si bien, como se indicó nace en la *Sierra de San Luis* (provincia de San Luis), según el criterio que se considere para definir el nacimiento del río, el mismo se ubica en el cerro Retama, montaña de 2,214msnm (33°02'21"S, 66°10'33"O), o del Cerro Tomolasta de 2,020msnm (32°46'36"S, 66°01'41"O) siendo el primer criterio el más aceptado. Sigue su curso por *Villa Mercedes en San Luis* (analizado en punto anterior del presente apartado), y a la altura de Justo Daract, el Río Quinto *ingresa en el sur de la provincia de Córdoba* hacia los 33°55'S, y prosigue hasta alcanzar una depresión geomorfológica en donde forma humedales y lagunas conocidos como **Bañados de la Amarga** (antiguamente Laguna Amarga), es en esta zona donde durante *periodos de escasa pluviosidad* el Río Quinto desaparece superficialmente (Wikipedia, 2007).

Sin embargo, durante los *periodos húmedos* el Río Quinto sobrepasa ampliamente los Bañados de la Amarga, y a través de un cauce poco preciso toma *dos direcciones (brazos)*, *Noreste o Brazo Norte*, que aporta sus aguas al Bañado del Destino en los límites de las provincias de Córdoba y Santa Fe; y *Brazo Sur*, que es mucho más importante y toma la dirección sur pasando por las localidades cordobesas de Jovita e Italó, ingresando en la provincia de Buenos Aires en las cercanías de Banderoló (pequeña localidad del *Partido de Gral. Villegas*, en el noroste de la provincia de Buenos Aires, que se analiza en punto 2 del presente apartado), anegando los territorios próximos a las ciudades de *General Villegas, América, y Trenque Lauquen*.

Desde Trenque Lauquen, con curso bastante divagante, el Río Quinto tuerce hacia el Noreste, pasando entonces sucesivamente por las proximidades de *Pehuajó, Carlos Casares, 9 de Julio y Bragado* confluyendo con el Río Salado bonaerense en las cercanías de Mechita (localidad ubicada en los Partidos de Bragado y Alberti) es de este modo que, siendo el Río Salado bonaerense un afluente de la Cuenca del Río de la Plata, transitoriamente también el Río

Quinto pasa también a integrarla. La longitud del tramo del Río Quinto cuando sólo forma una cuenca endorreica es de unos 375km, en cambio cuando llega a confluir con el Río Salado alcanza una longitud de aproximadamente 878km (Wikipedia, 2007).

El Río Quinto atraviesa un territorio caracterizado por presentar deficiencia hídrica, relieve plano anegable en sectores con limo loésico, de tipo fluvial y lacustre, salino y alcalino. El cauce de este río se ubica dentro de un clima templado continental semiárido con tendencia a subhúmedo (media anual de 700 a 800mm, concentrada principalmente durante verano-otoño), y con un estimado de 50 a 100mm de déficit hídrico anual. El verano es cálido e invierno frío, no riguroso, con temperatura anual promedio de 18°C, 26°C y 10°C para la media, máxima, y mínima, respectivamente (Wikipedia, 2007).

B-4-2 Precipitaciones

En la Tabla B4 se presentan los valores de precipitación mensual entre 1904 y 2006 correspondientes a Manfredi, Córdoba (valores suministrados por Estación Experimental INTA Manfredi). En esta se indican los mm de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1910-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS).

Tabla B4 Precipitaciones de Manfredi, Córdoba, entre 1903 y 2006.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1903	178	56	62	268	8	14	3	7	6	71	193	157	1023	90.7
1904	82	50	138	0	0	0	0	0	39	72	176	132	689	63.1
1905	61	70	170	20	14	14	3	0	36	62	54	93	597	48.0
1906	139	46	20	12	0	0	30	37	9	31	54	70	448	38.6
1907	26	149	122	71	30	0	3	21	27	41	67	197	754	62.1
1908	19	29	126	125	12	0	10	0	69	34	83	15	522	46.0
1909	8	79	33	85.5	23	0	5	5	92	129	135	81	675.5	49.7
1910	96	41	30.5	26	10	0	0	0	23	53	47	64	390.5	29.4
1911	59	118	13	0	51	0	40	34	14	130	73.5	106	638.5	45.4
1912	56	42	42	162	22	6	12	52	11	109	202	157	873	67.6
1913	74	133	69	24	0	12	0	123	30	12	111	111	699	51.1
1914	81	73	23	198	37	8	15	30	13	22	196	149	845	71.3
1915	163	225	31	61	0	0	0	0	49	93	45	103	770	71.4
1916	76	45	50	55	0	0	0	0	0	32	29	88	375	31.9
1917	45	67	62	126	0	24	26	0	29	6	47	61	493	35.7
1918	58	43	105	0	6	7	0	0	30	212	157.5	52.5	671	68.9
1919	83	142	144	8	105	10	35	5	6	109	93	132	872	56.3
1920	116	99	133	34	5	4	32	8	1	83	47	62	624	46.4
1921	17	50	150	0	0	0	0	82	52	49	127	156	683	59.3
1922	94	156	44	95	184	12	15	30	26	30	86	126	898	57.9
1923	134	98	209	51	50	15	5.5	0	0	56	80	68	766.5	61.6
1924	83	49.5	92.5	140	0	8	0	0	49.5	27	18.5	147	615	53.2
1925	122	93	65	3	29	0	62.5	6	25.5	92.3	82.5	107	687.8	43.2
1926	128	57	92	64	29	9	46	13	3	53	264	174	932	77.3
1927	108	23	242	47	35	26	19	22	19	64	85.5	196.5	887	74.2
1928	67	107	53	23	154	8	9	26	62.5	119	153.5	64	846	52.1
1929	162	55.5	75.5	35	3	25.5	0	0	22.5	115	102	27.5	623.5	51.7
1930	143.5	96.5	104.5	15	42.5	62	6.5	17.5	43	73.5	102	106.5	813	43.7

1931	159	205	84	43.5	46	6	2	27	25.5	50	97	182	927	69.6
1932	108	117.5	146	92.5	7	0	17.5	9	48	82	173	73	873.5	57.6
1933	129	97	31.5	72.5	14	0	0	0	108.5	42	24.5	69.5	588.5	45.3
1934	67.6	59	292	35.5	12	3	35	6	174	91.5	156.5	84	1016.1	85.4
1935	66.8	37.2	206.9	30.2	0	0	0	4	34.3	85	80.9	140	685.3	64.0
1936	113.2	45.4	58.3	114.6	3.8	9.6	4.7	0	0	86.1	114.9	68.1	618.7	47.6
1937	62	136.3	35.5	51.9	0	0	0	2.5	63.5	17.4	59.5	50	478.6	40.1
1938	27.9	63	44.1	167.2	65.1	20.3	3.6	14.2	5.5	70.7	145.2	0	626.8	54.7
1939	283.1	53.4	87.7	3.4	41	3.5	1.5	31.2	87	241.5	18	182.5	1033.8	97.2
1940	221.5	102.5	61.5	64.5	0	21	14	51	55	42.5	73.5	266	973	81.4
1941	36.5	90.8	150	38.6	51.5	1.5	40.2	0	9.5	23	121.5	64.5	627.6	47.2
1942	127.5	113	25	46	24	27	0	69	4	46	141	66.5	689	47.4
1943	63	52	80	16.5	93.5	13.5	72.5	0	13	169	120.5	48.5	742	49.8
1944	104.5	38	60.8	103	43.4	5	0	0	16	117.5	66.5	65.5	620.2	41.9
1945	44.5	133	81	33.5	9	0	0	3	66.6	42.5	47.5	237.5	698.1	68.6
1946	39	37	50	112.5	74.5	11	4	36	13.5	137	60	112.5	687	43.6
1947	64	74.5	199.5	91	9	4	1.5	24	72	61.5	134.5	24.5	760	58.7
1948	95	77.5	85	1	37.5	4	0	2	2	8	33.5	93.5	439	39.9
1949	78.5	29	48	32	7.5	1.5	74.5	13	27	79.5	50.5	65	506	28.0
1950	52.5	54.5	54.5	16	43.5	35.5	2.8	0	14.5	133	109	47.5	563.3	40.1
1951	120.2	42.2	46.5	17.5	2	1	0	23	0	41.5	112	84	489.9	43.2
1952	105	145.5	112	53.5	4	16.5	5	1	22	113	105	126.5	809	55.3
1953	143.5	101	80	32.5	8.2	40.8	0.8	0	2.5	61.8	53.1	179.3	703.5	58.4
1954	77.3	70.8	63.3	99.3	21	21.7	2.1	24.5	13.6	69.2	37.3	38.7	538.8	30.2
1955	177.2	169	138.7	61.1	52.9	0.7	1.5	0	0	117.4	105.2	50.5	874.2	67.0
1956	131.1	24.2	116.6	29.6	32.5	7.8	0	5.7	49	268.6	125.4	100.7	891.2	78.4
1957	141.3	97.9	127.3	53.7	55	22.5	0	0	25.3	17.9	164.6	167.9	873.4	63.9
1958	248.2	19	116.2	24.2	3.7	10.8	22.3	21.7	49.2	19.5	172	105.4	812.2	77.3
1959	129.4	277.1	106.2	39.9	47.1	31	19.4	46	0.2	27	158.2	150.3	1031.8	80.7
1960	155.7	33.4	117.6	21.7	4	20.5	30.5	0	55.5	93	153.5	112.6	798	57.2
1961	198.2	100.1	75.9	54.3	76	0	0	6.5	34.4	149.4	195.2	110.3	1000.3	70.2
1962	96.8	127.5	112.2	8.7	17.5	0	35.3	1	0	42.2	28.6	69.7	539.5	45.8
1963	233.4	68.5	81.3	21.4	28.1	8.5	8.6	0	33.2	36.1	125.6	114.8	759.5	67.7
1964	90.5	17.1	141.5	28.4	23.3	1	1.4	9.3	64.9	192.1	58.6	102.2	730.3	60.7
1965	34.2	59.3	18	43.4	14	17	20.8	13.3	48.7	62.4	35.4	130	496.5	32.8
1966	148.9	100	181.8	150.1	13.3	1.9	0.7	0	0	50.1	160.4	62.6	869.8	72.0
1967	79.4	138.2	115.9	48.7	7.5	1	9	14.5	80.9	163.8	135.6	57.3	851.8	57.3
1968	82.6	53.8	115.7	24.3	2.5	62.1	0.7	20	25.7	53.3	77.8	99.9	618.4	37.7
1969	55.2	63.2	73.3	76	19.1	35.3	4	8.1	6.9	17.7	99.3	161.8	619.9	47.0
1970	123.4	149.4	227.2	13	51.6	2.2	0	0.4	31.2	125.9	101.6	182.8	1008.7	78.5
1971	282.4	130.4	176.6	137.2	7.8	0.7	75.4	3.8	136	35.2	114.6	167.4	1267.5	85.0
1972	161.4	178.1	25.4	143.2	4.9	27.6	1.6	25.6	234	68.3	273.8	120.3	1264.2	93.4
1973	255.2	284.4	588.8	165.4	9.8	89	52.2	1.8	9.6	26.2	183	197.8	1863.2	169.2
1974	257.4	267.2	68.2	34	99	2	100.5	3.2	32	153.6	107.8	376.8	1501.7	118.2
1975	190.8	99.2	534	27	63	26.8	0	65	68.6	7.8	125	119	1326.2	144.3
1976	213.1	363.6	106.1	83.6	12.4	0	0	66.6	62.5	173.2	414	308.2	1803.3	144.5
1977	222	137.6	146.2	168.8	12.2	31.6	8.2	12.6	15	449.7	114.8	724.7	2043.4	215.8

1978	251.4	249.4	442	49	0	40.7	9.6	0	227.9	135.2	222.2	333.7	1961.1	146.3
1979	187	413.8	43	186.6	21.5	143.5	16.4	18.4	44.2	83.6	330.6	286	1774.6	135.6
1980	33.6	202	220.2	324.6	51	22.2	0	0	27.2	118	225	363.5	1587.3	130.2
1981	312.3	120	96.2	149.6	30.2	0	0	0	5.7	85.5	146.1	132	1077.6	92.4
1982	50.5	62.1	104.1	54.4	17.8	3.5	2.2	0	79.6	90	84.4	14.4	563	38.0
1983	195	128.5	46.2	59.1	34.5	0	5.5	35.1	16.5	95.8	64	64.5	744.7	55.7
1984	201	360.7	150.2	24.9	6	0	0	18	81.7	40.5	140.6	175.2	1198.8	110.0
1985	95.8	21	85.1	24.5	0	0	106.1	29.2	34.1	79.8	227.6	215.9	919.1	76.9
1986	177.1	43.7	50	25	0.6	0	56.2	12.8	44.5	33.8	80.7	119.5	643.9	51.4
1987	51.6	87	184.3	25.5	67.1	0	9.7	0	5.3	64.2	50	184.7	729.4	64.6
1988	145.3	127	95	6.5	4	0	7	6	24.9	8.3	63.2	90.9	578.1	53.5
1989	148.2	74.2	93.1	62	37	30.8	0	3.5	6	23.8	51	194	723.6	59.9
1990	235.9	90.6	97.1	38.4	0	0	39.1	0	0	83.7	124.5	179.5	888.8	77.0
1991	177.7	105	47.3	124.8	44.5	19.5	1	6	3	55	58.5	336.5	978.8	96.6
1992	63	112	137	56.5	24	0	11	9	117.5	131.5	71.5	236.5	969.5	69.5
1993	71.9	68.5	56.5	60	28.1	1	2	3.5	16	27	229.5	139.5	703.5	67.0
1994	142	64.5	43	8	29	6	0	65.5	3	39	65	51.4	516.4	40.0
1995	87.5	148	34	5	30.5	0	0	0	0	48	155.5	57.5	566	56.2
1996	96.5	113	74	117	2	15	0	0	33.6	114.8	70.9	146.5	783.3	53.2
1997	148.5	41.5	42.8	2.5	0	10	4	0	53	80	47.5	200	629.8	63.3
1998	38	124.5	64	76	32.9	15	0	0	30	60.5	65.5	104	610.4	39.0
1999	106.5	84.5	231	153.5	8.5	14	1	11.5	21	214.5	84.5	175.5	1106	84.3
2000	80.5	47.5	27	94.5	54	0	10	0	3	157	71.5	82.5	627.5	47.8
2001	215	37	145.5	88.5	11	4.5	0	15.5	110.3	114	113	84	938.3	66.5
2002	123.5	66	179	84	20.5	0	26.5	23	25.5	32	259.5	117	956.5	77.9
2003	115.5	17.5	117.5	70	12.5	8	24.5	3	3.5	20	60	123	575	47.5
2004	32	58.5	103	49.5	39.5	0	50	0	0	88	120	117.5	658	44.1
2005	180	93	121	61	3	0	16	15	16.5	67	113	99	784.5	57.2
2006	168	112	60	121	0	4.5	3	0	1.5	41	132.5	140.5	784	65.2
promedio	120.3	101.0	109.5	65.2	26.3	12.0	14.0	14.0	36.2	81.5	113.5	132.0	825.3	66.1

B-4.3 Las inundaciones en sur de Córdoba, intervención del hombre, y aportes de agua profundas

En este apartado se analiza la ocurrencia de inundaciones en Córdoba según Degioanni, *et al.* (1999), y como las canalizaciones realizadas han incidido en su ocurrencia. Asimismo, estos autores, mencionan la incidencia de agua profunda regional.

Sobre las inundaciones y canalizaciones

Degioanni, *et al.* (1999). indican que las inundaciones constituyen uno de los riesgos naturales que con mayor incidencia afectan a todo el sector sudeste de esa provincia. Se trata de una zona de gran extensión, cuya topografía eminentemente plana, dificulta la organización de la red de drenaje, y los cauces principales no siempre mantienen un trazado efectivo hasta el mar. Asimismo, se menciona la existencia de gran cantidad de humedales donde afloran la superficie freática con la presencia de flujos superficial y subterráneo en zonas más deprimidas. Este sistema naturalmente deficiente, en épocas de lluvia alta, conlleva a auténticos problemas de inundación en todo el sector, con las consiguientes repercusiones socio-económicas para una población que subsiste fundamentalmente de la explotación agropecuaria. Estos autores

destacan que el fenómeno no es reciente, así indican relatos del siglo XIX para Laboulaye cuando se emplazó como ciudad con ocurrencia de inundaciones.

Así, Degioanni *et al.* (1999), indican que las inundaciones tienen un origen natural y antrópico, afectan el sudeste de la provincia de Córdoba y se localizan principalmente en los departamentos Roque Sáenz Peña y centro-este del departamento General Roca, si bien alcanza otros ámbitos más al norte.

Respecto al *origen natural*, se indica que la región se caracteriza por presentar un clima subhúmedo, con estación invernal seca, mesotermal, con precipitación media anual para la serie 1903-1998 de 798mm (74% de octubre a marzo), y temperatura media anual para 1961-1970 de 16.6°C con una amplitud térmica promedio de 14.6°C. No obstante, hubo un incremento de la precipitación en las últimas décadas, lo que se constituyen en el principal factor desencadenante de las inundaciones. Así, indican que desde la década de 1970 se observan dos hechos que coadyuvan, por un lado un incremento de la precipitación media anual, de 760mm anuales para la serie 1903-1970, a 907mm anuales para la serie 1971-1999 y por el otro, la recurrencia de lluvias que superan ampliamente la media anual o estacional como ocurrió recientemente en el período 1997-2001, generando un severo proceso de inundación y anegamiento. Asimismo, esto se produce en un área que geomorfológicamente, es una gran llanura eólica con una superficie de 16,000km² y constituye la unidad ambiental denominada Llanuras Mal Drenadas del sudeste de Córdoba, ambiente muy plano, con un gran número de lagunas permanentes (superficie aproximada: 1,200km²) y de humedales (bañados) con vegetación hidrohalomórfica (superficie aproximada: 3,020km²). Esta unidad es un sitio de recepción y tránsito de escorrentía proveniente de las vertientes orientales de las sierras de Comenchingones y de San Luis.

Entre factores inducidos por el hombre se destacan, la impermeabilización progresiva del suelo por su deterioro físico, la construcción de una red vial que condiciona la acumulación y movimiento del agua en superficie y el establecimiento de canales de manera anárquica, sin un criterio integral sobre el funcionamiento hidrológico regional (Degioanni *et al.*, 1999).

Según indican Degioanni *et al.* (1999), históricamente los arroyos Santa Catalina y El Gato finalizaban su recorrido natural en el extremo norte de la laguna Tigre Muerto y del Río Quinto en los bañados La Amarga. Luego estos ambientes fueron colmatándose hasta alcanzar la situación actual en que su capacidad de embalse y regulación es prácticamente nula, por lo que actualmente, a partir de Tigre Muerto se realizaron distintas canalizaciones para drenar esta zona hacia el mar a través del sistema Saladillo-Carcarañá-Paraná.

Igualmente, esto se realizó con el Río Quinto donde finalizaba su recorrido en los bañados de La Amarga, y mediante una red de canales artificiales fue conectando un conjunto de lagunas a partir de La Amarga dirigiendo la escorrentía hacia la provincia de La Pampa y Buenos Aires. Consecuentemente, lo indicado precedentemente respecto a la longitud del recorrido del Río Quinto, en función de las épocas seca o húmeda (Wikipedia, 2007), al menos en parte, es por acción antrópica de canalización.

Aportes de agua subterránea profunda

Degioanni, *et al.* (1999), indican además la existencia de *aportes de agua subterránea profunda (descarga)*, si bien no definen las zonas de recarga. Así, mencionan la existencia de dos sistemas hidrogeológicos: *basal, que es de carácter regional* y portador de aguas clorurada sódica de mediana a alta salinidad con una circulación de dirección general NO-SE, y *cuspidal* formado por sedimentos de arena fina de espesor variable (hasta 10m) con contenido de agua de menor salinidad (la columna estratigráfica presenta sedimentos limoso, arcilloso y eólico con intercalación de material calcáreo en su base y sedimentos eólico arenoso del Pleistoceno

Superior, en el techo). Indican además, que la variación de la profundidad de la capa freática está en relación con el resultado del balance hídrico regional y local, así como de los períodos, húmedo plurianual y estacional.

A *nivel regional*, y escala plurianual, se observa que a partir de la segunda mitad del siglo pasado, y más acentuadamente a partir de la década de 1970, se ha producido una mayor frecuencia de eventos de recarga al agua subterránea, coincidente con el incremento en la precipitación media anual para los últimos 30 años, que se traduce en un ascenso del nivel freático a escala regional.

A *nivel local*, la variación de la profundidad de la superficie freática se relaciona con el balance hídrico estacional, produciéndose un descenso del nivel durante las estación seca y un ascenso durante el semestre húmedo ($P > ETP$). El sistema freático funcionando en estas condiciones cumple un mecanismo de movilización, transporte, acumulación de agua y solutos, produciendo bañados y lagunas en zonas de descarga, y suelos con génesis hidro-halomórfica (salino-alcalino). En síntesis, existe una marcada tendencia del acuífero a tener una respuesta oscilatoria regional relacionada con la variación del régimen pluviométrico en la misma, con poca influencia, a nivel regional, del aporte de los cursos externos a las Llanuras (Degioanni *et al.*, 1999).

B-4.4 Variación de la superficie freática y precipitaciones en región pampeana

Aquí se presenta el análisis que Risiga (en CIMA-CONICET, 2006) efectúa entre variaciones de la superficie freática y precipitaciones, los desfases que entre estas encuentra y la incidencia de agua de carácter regional.

Para el periodo 1940-1976, en las localidades que analiza para la pradera pampeana, que incluye Laboulaye, y Rufino, no aprecia que haya habido variación importante en la precipitación. Respecto a la variación en la superficie freática, encuentra que el exceso y déficit de precipitación en los balances hídricos no se ajustan en la medida de lo necesario a aquellos períodos en los cuales se producen aumento o disminución de profundidad a la superficie freática. Asimismo, indican que las variaciones de precipitación sólo contribuyen en un 12%, existiendo un desfase entre los valores de precipitación, descontada de ésta la evapotranspiración potencial, y la variación de la profundidad de la superficie freática.

Esto lo vincula a la profundidad de la superficie freática, y a retardos debido, a lo que este autor denomina “*estímulos exteriores*”, sin especificarlos, también indica los siguientes valores de profundidad de la superficie freática y retardo en meses: *General Villegas*, profundidad media 8.79m y un retardo de un trimestre; *Laboulaye*, profundidad media de 4.287m y un desfase de un trimestre; *Rufino*, con una profundidad media de 1.535m y un desfase de un trimestre (en punto 2.1.2.3. Hidrogeología, se analizó esto con mayor detalle).

Las asociaciones que este autor establece no resultan tan fácilmente apreciables, por el contrario, sugieren una incidencia de agua proveniente de otros sitios, y no sólo de la precipitación ocurrida. Se destaca que en esta misma publicación, otros autores, González y Natenzón (en CIMA/CONICET, 2006) al analizar la Hidrogeología del subsuelo, señalan que “*dado que los niveles acuíferos de mediana a gran profundidad no quedan involucrados directamente ni afectan el comportamiento de los niveles más superficiales, directamente no serán considerados en este análisis*”. Por lo cual en esta publicación, al no considerar la incidencia de agua de otro origen y centrarse en la precipitación del sitio, realizan análisis incompletos.

⇒ ANEXO B-5 Provincia de Santa Fe

B 5-1 Precipitaciones

En la Tabla B5 se presentan los valores de precipitación mensual entre 1975 y 2006 correspondientes a Rufino, Santa Fe. En esta se indican los mm de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1910-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS).

Tabla B5 Precipitaciones de Rufino, Santa Fe, entre 1903 y 2006

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1975	114	175	322	74	92	20	0	55	150	70	93	40	1205	86.0
1976	102	201	65	60	0	0	35	121	0	106	105	180	975	67.4
1977	216	102	112	0	10	46	0	21	47	111	47	127	839	65.0
1978	215	166	202	29	12	0	48	0	156	60	172	164	1224	83.9
1979	129	125	159	52	30	40	33	87	17	36	150	121	979	52.5
1980	0	125	179	211	18	22	0	0	0	220	108	81	964	86.4
1981	340	93	106	149	6	7	5	0	27	65	140	87	1025	96.5
1982	143	128	142	92	8	41	15	0	157	34	113	93	966	57.9
1983	207	127	97	78	87	8	12	43	6	102	59	106	932	57.9
1984	265	219	286	69	0	0	0	10	125	50	91	73	1188	104.0
1985	195	120	125	172	0	0	95	42	99	182	154	112	1296	65.8
1986	307	50	100	133	13	0	0	0	44	176	98	46	967	91.1
1987	120	308	124	0	20	6	39	34	0	111	195	126	1083	93.5
1988	73	80	320	60	15	0	12	0	95	40	72	131	898	87.3
1989	110	67	193	30	21	72	30	10	35	67	89	150	874	55.5
1990	116	123	246	175	78	41	0	23	9	113	212	32	1168	81.5
1991	133	62	178	249	63	115	26	33	91	130	138	396	1614	103.6
1992	24	44	143	42	25	0	32	55	93	87	179	100	824	53.2
1993	179	75	21	210	81	12	4	38	40	202	88	168	1118	76.6
1994	94	88	87	82	148	41	19	33	43	120	59	184	998	49.1
1995	143	75	123	159	88	0	13	0	20	74	102	80	877	54.8
1996	201	74	133	161	25	0	0	3	26	68	102	98	891	66.9
1997	102	55	119	160	40	31	0	0	47	242	145	239	1180	84.6
1998	154	214	76	192	58	6	20	30	37	92	222	140	1241	78.2
1999	76	33	449	96	20	23	16	25	46	177	32	88	1081	122.2
2000	122	106	62	97	156	0	0	4	5	130	178	43	903	64.8
2001	153	38	136	163	5	0	2	43	114	184	58	59	955	67.1
2002	121	41	117	121	73	0	5	73	10	128	58	147	894	52.4
2003	63	119	85	83	7	4	60	38	5	8	19	65	556	38.5
2004	297	35	112	159	155	0	87	45	6	133	116	184	1329	84.6
2005	226	38	141	39	4.5	4	0	28	55	68	93	33	729.5	65.9
2006	90	70	128	88	28	0	15	0	5	150	122	162	858	60.6
promedio	150.9	105.5	152.8	108.9	43.3	16.8	19.5	27.9	50.3	110.5	112.8	120.5	1019.7	73.6

⇒ ANEXO B-6 Provincia de Buenos Aires

B-6.1 General Villegas

Precipitaciones

En la Tabla B6, se presentan los valores de precipitación mensual entre 1911y 2006 correspondientes a Villegas, Buenos Aires. En esta se indican los mm de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1910-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS).

Tabla B6 Precipitaciones de Villegas, Buenos Aires entre 1911 y 2006.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1911	27.7	179.2	40.9	75.8	127.5	0	24.1	18	14.4	119.1	180.4	224.9	1032	77.6
1912	178	182.8	20.4	113	0	15.6	9.6	6	57.7	102.2	236.9	141.9	1064.1	82.2
1913	3.6	91.4	116.7	54.1	95	49.3	0	104.6	97.4	74.6	131.1	72.2	890	41.3
1914	255	122.7	63.7	211.7	206.9	9.6	63.7	34.9	31.3	135.9	150.3	353.6	1639.3	104.6
1915	46.9	74.6	74.6	50.5	0	0	7.2	20.4	25.3	199.6	85.4	162.4	746.9	63.3
1916	60.1	87.8	27.7	119.1	0	6	0	73.4	3.6	30.1	39.7	39.7	487.2	38.1
1917	98.6	246.5	113	229.7	6	57.7	77	0	39.7	64.9	36.1	56.5	1025.7	78.6
1918	120.3	93.8	89	64.9	3.6	34.9	12	9.6	34.9	149.1	55.3	73.4	740.8	45.8
1919	294.7	188.8	239.3	98.6	87.8	97.4	104.6	9.6	67.3	51.7	34.9	104.6	1379.3	84.5
1920	172	186.4	120.3	123.9	2.4	19.2	0	6	21.6	133.5	132.3	173.2	1090.8	74.6
1921	79.4	331.9	172	4.8	0	22.9	15.6	0	126.3	117.9	78.2	37.3	986.3	96.8
1922	128.7	62.5	75.8	64.9	123.9	141.9	7.2	0	108.2	26.5	181.6	28.9	950.1	58.0
1923	52.9	42.1	322.3	21.6	66.1	21.6	49.3	140.7	38.5	169.6	51.7	73.4	1049.8	86.6
1924	78.2	72.2	78.2	119.1	40.9	21.6	34.9	0	7.2	67.3	30.1	187.6	737.3	52.5
1925	56.5	322.3	79.4	28.9	129.9	0	128.7	0	60.1	64.9	125.1	145.5	1141.3	87.3
1926	51.7	37.3	256.2	120.3	120.3	62.5	27.7	68.6	9.6	32.5	186.4	109.4	1082.5	72.8
1927	340.4	0	83	6	3.6	12	49.3	96.2	0	203.2	147.9	167.2	1108.8	105.9
1928	19.2	96.2	145.5	71	87.8	12	75.8	7.2	97.4	73.4	199.6	187.6	1072.7	62.9
1929	77	0	32.5	86.6	14.4	21.6	0	0	103.4	73.4	48.1	30.1	487.1	36.5
1930	102.2	95	25.3	215.3	42.1	0	0	33.7	96.2	73.4	119.1	221.3	1023.6	73.8
1931	322.3	28.9	113	81.8	19.2	0	48.1	67.3	9.6	74.6	10.8	122.7	898.3	87.9
1932	44.5	122.7	233.3	74.6	34.9	0	10.8	21.6	79.4	84.2	120.3	90.2	916.5	63.8
1933	71	250.2	230.9	30.1	51.7	0	6	2.4	140.7	116.7	57.7	85.4	1042.8	84.2
1934	39.7	72.2	164.8	12	25.3	0	0	24.1	96.2	145.5	322.3	163.6	1065.7	96.2
1935	67.3	66.1	26.5	43.3	20.4	30.1	0	9.6	2.4	99.8	105.8	108.2	579.5	40.2
1936	54.1	186.4	21.6	109.4	15.6	30.1	85.4	0	0	28.9	133.5	216.5	881.5	73.4
1937	39.7	85.4	104.6	13.2	42.1	2.4	0	12	42.1	39.7	44.5	26.5	452.2	31.5
1938	31.3	84.2	221.3	127.5	77	2.4	6	22.9	6	63.7	14.4	0	656.7	66.2
1939	55.3	155.1	18	0	67.3	38.5	0	0	153.9	281.4	122.7	56.5	948.7	85.0
1940	77	149.1	67.3	37.3	33.7	206.9	45.7	56.5	145.5	78.2	135.9	329.5	1362.6	86.8
1941	146.7	143.1	193.6	48.1	92.6	0	75.8	40.9	0	93.8	80.6	89	1004.2	58.0
1942	101	196	27.7	15.6	0	8.4	0	31.3	71	33.7	37.3	206.9	728.9	71.8
1943	40.9	24.1	145.5	78.2	0	105.8	120.3	0	0	218.9	167.2	18	918.9	74.5
1944	116.7	151.5	245.3	38.5	19.2	0	2.4	0	32.5	96.2	21.6	126.3	850.2	76.9
1945	96.2	162.4	123.9	115.5	0	10.8	26.5	0	0	84.2	9.6	7.2	636.3	59.3
1946	64.9	72.2	95	264.6	163.6	123.9	12	26.5	55.3	72.2	132.3	240.5	1323	79.3
1947	40.9	153.9	211.7	128.7	15.6	32.5	7.2	0	83	90.2	151.5	31.3	946.5	69.0
1948	144.3	133.5	135.9	61.3	68.6	0	14.4	20.4	73.4	43.3	8.4	6	709.5	53.6
1949	33.7	74.6	74.6	12	10.8	0	67.3	43.3	32.5	54.1	27.7	85.4	516	28.3
1950	10.8	15.6	193.6	92.6	64.9	8.4	13.2	9.6	57.7	178	51.7	194.8	890.9	74.1
1951	126.3	185.2	43.3	78.2	138.3	12	16.8	0	20.4	20.4	90.2	141.9	873	62.8
1952	8.4	39.7	180.4	31.3	45.7	128.7	60.1	67.3	113	119.1	110.6	102.2	1006.5	49.7
1953	32.5	202	255	117.9	0	0	0	0	22.9	108.2	200.8	168.4	1107.7	95.1
1954	166	0	126.3	144.3	4.8	84.2	0	15.6	24.1	140.7	74.6	71	851.6	62.0
1955	212.9	390.9	37.3	61.3	26.5	30.1	90.2	0	0	50.5	104.6	55.3	1059.6	111.2
1956	158.8	36.1	216.5	96.2	0	78.2	50.5	46.9	44.5	168.4	54.1	13.2	963.4	67.2
1957	66.1	45.7	140.7	143.1	81.8	60.1	0	0	18	4.8	119.1	235.7	915.1	72.2
1958	152.7	232.1	37.3	13.2	58.9	12	162.4	33.7	39.7	43.3	111.8	113	1010.1	69.8
1959	77	72.2	140.7	126.3	10.8	25.3	49.3	51.7	78.2	174.4	125.1	89	1020	48.8
1960	99.8	0	68.6	0	0	9.6	89	0	99.8	107	74.6	38.5	586.9	45.2
1961	156.3	153.9	40.9	56.5	13.2	0	42.1	60.1	42.1	273	151.5	128.7	1118.3	79.9
1962	128.7	0	93.8	84.2	7.2	15.6	138.3	4.8	50.5	167.2	69.8	91.4	851.5	56.6
1963	86.6	13.2	192.4	27.7	6	16.8	14.4	36.1	26.5	123.9	91.4	132.3	767.3	60.4
1964	20.4	75.8	205.7	145.5	36.1	0	36.1	0	90.2	0	214.1	107	930.9	77.1
1965	33.7	129.9	109.4	99.8	8.4	58.9	19.2	0	0	110.6	258.6	126.3	954.8	75.6
1966	31	21	170	61	22	0	40	0	0	6	307	167	825	96.1
1967	47	48	46	34	60	15	15	0	86	406	57	21	835	108.6
1968	80	130	31	0	0	69	0	63	52	109	108	203	845	61.0
1969	44	102	259	313	117	141	0	0	25	44	76	52	1173	98.8
1970	257	71	200	8	6	0	0	0	36	137	76	125	916	86.7
1971	153	84	71	92	30	0	20	47	22	94	56	28	697	42.9
1972	122	43	98	124	0	30	10	48	108	123	153	108	967	51.3
1973	159	218	223	102	7	53	45	0	11	43	49	37	947	79.1
1974	218	28	107	4	73	8	49	26	12	110	19	143	797	66.3
1975	133	90	285	68	28	23	0	12	52	140	114	27	972	80.0

1976	269	153	72	159	16	0	11	114	7	89	136	190	1216	84.7
1977	170	91	61	9	12	5	8	5	17	30	79	187	674	64.5
1978	135	158	196	52	28	0	26	0	170	73	132	132	1102	69.8
1979	99	49	163	23	39	92	20	38	47	40	24	75	709	41.8
1980	24	177	72	280	32	14	17	0	4	75	98	185	978	88.8
1981	143	115	87	221	10	7	12	2	15	83	173	94	962	73.3
1982	115	140	72	150	20	36	28	0	46	69	84	126	886	49.9
1983	215	46	144	84	67	0	9	52	0	132	93	205	1047	73.9
1984	223	438	260	38	22	7	0	1	131	24	76	105	1325	134.6
1985	123	34	39	140	0	0	121	23	142	176	139	299	1236	88.0
1986	328	41	126	119	33	3	0	26	69	118	168	58	1089	91.7
1987	140	177	437	32	23	7	65	42	26	68	163	132	1312	118.8
1988	72	102	544	47	20	8	4	2	148	42	114	164	1267	148.9
1989	60	220	188	5	54	47	34	38	17	90	46	169	968	71.4
1990	66	78	182	102	149	0	16	0	70	125	125	106	1019	58.2
1991	138	14	71	126	50	136	16	53	118	121	80	172	1095	51.2
1992	53	87	201	25	51	5	2	104	57	79	93	201	958	65.3
1993	255	16	3	84	121	35	0	26	73	115	107	94	929	71.2
1994	219	67	94	88	69	40	25	39	49	137	6	172	1005	63.4
1995	118	36	149	97	114	3	6	8	13	72	51	32	699	50.6
1996	104	84	77	247	11	21	2	6	11	111	111	142	927	73.1
1997	61	62	135	34	22	47	9	4	45	155	92	401	1067	108.8
1998	118	159	31	144	22	26	30	37	46	68	88	98	867	48.4
1999	103.3	24.8	177.3	94	11.2	35	16.8	26	61.2	121.5	110	114.5	895.6	52.9
2000	58.5	71	168.7	58	163.1	18	3	6.2	14.6	171	171.8	28	931.6	70.5
2001	130.5	21.6	258.5	157.1	33.5	9.9	3	51.3	129.3	138	119.6	76	1128.3	75.4
2002	218	24	121.8	50	56.2	2.5	12	58	28	208	132	207	1117.5	81.1
2003	42	124.5	90.5	67.5	0	0	5	0	11.5	36.3	84	28.7	490	41.9
2004	266.8	28.2	36.5	105.1	86	0	48	22.8	0	132.5	111	109.8	946.7	75.0
Promedio	113.6	107.3	132.5	86.5	43.6	28.5	29.0	24.6	50.6	102.8	105.1	121.5	945.8	72.1

Noroeste bonaerense

B-6.2 Pehuajó

Precipitaciones

A continuación se presenta la Tabla B7 de precipitaciones entre 1911 y 2006, en el partido de Pehuajó. En esta se indican los mm de precipitación por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado: 1911-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS).

Tabla B7 Precipitaciones de Pehuajó, entre 1911 y 2006.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1911	70.1	81.1	16.4	53.4	213.3	1.7	3.9	14.1	39.8	73.7	100.0	102.9	770.4	59.1
1912	137.5	97.0	83.5	103.0	12.7	32.5	1.0	40.8	78.6	142.4	108.2	34.6	871.8	47.5
1913	5.6	169.3	147.8	96.2	307.3	36.8	1.5	340.4	53.0	61.3	56.7	33.0	1308.9	112.6
1914	116.4	82.0	55.0	181.7	162.7	30.8	22.8	10.2	24.7	188.0	193.8	109.2	1177.3	70.3
1915	89.8	86.4	110.6	71.9	41.6	0.0	12.8	1.6	35.3	72.1	73.2	104.5	699.8	39.0
1916	119.2	18.5	71.4	133.1	34.3	7.7	1.0	42.4	36.2	29.8	43.3	39.3	576.2	40.8
1917	103.8	100.5	86.4	155.5	25.3	12.8	38.7	0.0	60.1	29.0	19.6	34.6	666.3	46.6
1918	68.7	52.0	81.4	63.2	7.2	129.1	20.6	62.7	51.2	35.6	112.4	52.6	736.7	34.6
1919	108.0	0.0	79.9	186.6	314.5	49.6	55.9	4.7	100.7	0.0	37.1	120.2	1057.2	90.6
1920	134.7	62.6	57.8	95.2	14.5	31.6	7.4	0.0	33.6	110.1	103.1	112.3	762.9	46.4
1921	70.1	140.2	50.7	10.7	30.7	17.1	2.5	17.3	38.9	105.2	104.1	149.3	736.8	51.6
1922	165.5	164.0	23.6	31.1	99.4	88.9	4.9	34.5	29.2	53.0	66.0	21.2	781.3	54.3
1923	80.0	103.1	127.1	35.0	39.8	12.8	14.2	219.6	68.9	92.8	46.4	73.1	912.8	57.2
1924	122.0	33.5	88.5	99.1	106.7	0.9	8.8	0.0	43.3	12.4	79.4	33.0	627.6	44.4
1925	18.2	200.1	64.2	11.7	168.1	0.0	32.4	25.1	59.2	23.2	145.3	62.8	810.3	66.7
1926	23.8	28.2	125.6	137.0	101.2	50.4	6.4	171.0	17.7	32.3	137.1	20.4	851.1	58.9
1927	389.9	29.1	35.7	11.7	3.6	0.0	20.6	14.1	11.5	83.6	131.9	72.3	804.0	109.0
1928	96.8	14.1	33.5	66.1	150.0	7.7	17.2	12.5	34.9	26.5	80.4	50.3	590.0	42.6
1929	114.0	50.2	30.7	152.6	23.5	12.8	1.0	3.1	102.5	111.8	117.5	48.7	768.4	52.6
1930	80.0	89.9	65.7	141.9	30.7	12.8	0.5	54.9	51.2	45.5	44.3	102.1	719.5	39.3
1931	256.7	28.2	65.7	38.9	0.0	0.0	42.4	153.7	71.6	46.8	88.6	11.0	803.6	73.5
1932	40.7	48.9	202.0	51.5	74.1	0.0	10.8	81.6	12.4	82.0	84.5	88.8	777.3	53.4
1933	95.4	178.1	104.2	30.1	150.0	6.8	2.0	7.8	121.0	125.1	18.9	58.1	897.5	61.9

1934	72.9	36.1	77.1	9.7	21.7	16.2	50.0	54.9	70.7	73.7	204.1	88.8	775.9	51.1
1935	44.9	80.2	83.5	30.1	77.7	30.8	5.4	91.8	1.8	29.8	117.5	90.3	683.8	37.7
1936	68.7	43.2	8.6	71.9	61.5	27.4	15.7	28.2	42.4	49.7	222.6	53.4	693.3	55.6
1937	9.8	104.9	52.8	22.3	77.7	12.0	5.9	14.1	71.6	39.8	77.3	28.3	516.5	33.1
1938	16.8	12.3	84.9	115.6	216.9	23.1	5.9	9.4	3.5	115.1	80.4	25.1	709.0	65.5
1939	165.5	124.3	75.7	25.3	254.9	41.9	6.4	20.4	76.9	65.4	26.8	38.5	922.0	72.6
1940	81.4	78.5	70.7	66.1	157.3	211.2	15.2	58.0	53.9	53.8	46.4	113.1	1005.6	53.6
1941	157.1	119.9	87.1	39.8	235.0	3.4	54.9	64.3	1.8	12.4	116.5	77.8	970.0	68.7
1942	95.4	171.0	127.1	22.3	90.4	0.0	4.9	72.2	54.8	52.2	27.8	47.9	766.0	50.7
1943	49.1	3.5	117.1	53.4	75.9	101.7	10.8	4.7	11.5	94.4	149.5	93.5	765.1	49.2
1944	124.8	67.0	56.4	38.9	169.9	29.9	21.6	42.4	57.4	77.8	76.3	85.6	848.0	41.9
1945	50.5	153.4	59.2	40.8	0.0	12.8	13.7	122.3	60.1	39.8	50.5	45.6	648.7	44.0
1946	71.5	89.0	72.2	157.4	141.0	127.4	26.5	59.6	67.1	103.4	196.8	172.0	1283.9	51.8
1947	57.9	74.0	106.4	172.0	75.9	51.3	24.5	0.0	18.6	12.4	110.3	14.9	718.2	51.0
1948	89.8	20.7	84.2	70.9	184.4	43.6	9.8	9.4	92.8	44.7	22.7	89.6	762.6	49.9
1949	29.5	65.2	95.6	50.5	79.5	15.4	11.3	95.7	28.3	19.0	74.2	53.4	617.6	30.7
1950	43.5	41.4	41.4	68.0	72.3	0.0	11.8	29.8	82.2	78.7	129.9	45.6	644.6	35.0
1951	152.9	94.3	22.1	31.1	159.1	38.5	4.9	3.1	42.4	57.1	192.7	76.2	874.4	63.8
1952	44.9	25.6	131.3	25.3	106.7	17.1	60.3	191.4	45.1	106.8	54.6	26.7	835.8	53.4
1953	92.6	135.8	52.8	134.1	65.1	8.8	5.4	23.5	46.8	59.6	110.3	73.8	808.6	44.3
1954	182.3	67.0	40.7	35.0	81.3	25.6	15.7	0.0	50.4	69.6	34.0	46.3	647.9	46.5
1955	58.9	114.6	70.7	69.0	86.8	8.5	44.1	43.9	55.7	51.3	161.8	44.8	810.1	39.4
1956	211.8	56.4	89.9	52.5	34.3	30.6	28.3	49.0	53.9	78.7	58.4	10.2	754.0	51.7
1957	213.2	20.3	69.2	73.8	521.5	27.4	10.3	0.0	25.2	88.6	88.6	158.7	1296.8	144.7
1958	151.5	50.2	84.2	25.3	43.4	20.5	79.9	18.8	5.3	0.0	150.5	132.8	762.4	55.7
1959	91.2	67.0	112.1	42.8	50.6	52.1	2.9	0.0	3.5	90.3	94.8	25.1	632.4	39.2
1960	110.8	51.1	101.4	2.9	47.0	29.1	27.5	4.7	65.4	105.2	42.3	77.0	664.4	37.3
1961	120.6	104.0	24.3	14.6	39.8	16.2	8.8	122.3	38.0	120.1	64.9	65.2	738.8	44.6
1962	94.0	25.6	34.3	61.2	18.1	0.0	8.8	133.3	19.4	38.1	109.2	62.8	604.8	42.4
1963	88.4	54.7	118.5	114.7	27.1	94.0	18.1	186.9	57.4	114.3	120.6	130.4	1125.1	47.9
1964	40.7	179.8	97.8	100.1	291.0	9.4	2.9	62.7	76.0	8.3	149.5	69.9	1088.1	83.5
1965	244.3	78.5	7.3	86.5	77.7	62.4	27.0	58.4	0.0	96.1	89.7	53.4	881.3	62.4
1966	107.0	52.9	38.0	138.9	209.7	20.9	43.2	50.2	0.0	37.3	245.3	136.7	1080.1	77.9
1967	113.6	67.0	55.7	138.7	68.9	14.5	14.2	11.0	88.4	215.1	52.6	87.2	926.9	58.7
1968	99.6	126.9	114.4	5.2	0.0	66.6	19.6	128.6	50.4	71.2	84.5	59.7	826.7	44.6
1969	35.1	119.0	102.8	91.3	110.3	53.9	0.0	0.0	26.5	91.9	107.2	25.9	763.9	44.8
1970	231.4	19.9	111.2	5.8	102.1	5.7	9.8	1.6	138.4	47.8	37.1	41.7	752.5	70.2
1971	239.9	47.0	158.4	102.0	104.3	29.3	9.8	120.7	51.1	71.5	22.1	86.5	1042.6	65.2
1972	86.0	97.7	53.0	45.8	63.9	82.7	3.5	11.1	191.7	53.6	49.0	93.6	831.6	48.7
1973	0.0	266.8	116.8	87.1	10.7	0.0	19.1	0.0	7.3	159.7	54.2	89.8	811.5	82.3
1974	458.1	102.4	63.8	10.3	334.6	16.1	20.8	85.1	49.0	23.8	43.7	87.9	1295.6	140.5
1975	87.8	147.5	324.3	108.8	179.0	39.3	2.9	7.4	38.5	74.4	0.0	81.5	1091.4	92.7
1976	64.5	163.4	45.8	99.7	17.1	12.1	51.5	120.2	28.1	68.5	84.4	82.4	837.7	44.1
1977	162.4	0.0	59.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6	62.5	72.2	115.8	495.8	54.3
1978	0.0	62.0	182.3	0.0	0.0	4.0	39.3	0.0	119.6	147.8	91.7	67.2	713.9	64.1
1979	51.1	29.1	61.1	33.1	30.6	24.4	11.4	49.1	7.4	42.7	84.4	93.8	518.2	26.6
1980	35.0	47.0	72.0	129.0	66.0	17.0	29.0	5.0	8.0	100.2	113.7	69.0	690.9	41.3
1981	244.0	110.2	23.0	90.0	40.0	46.0	0.0	0.0	53.0	113.7	101.0	58.0	878.9	66.7
1982	93.0	92.0	109.0	92.0	25.0	43.0	8.0	0.0	335.0	165.6	51.1	69.0	1082.7	90.1
1983	85.0	221.0	93.1	90.1	82.0	4.0	0.0	30.0	0.0	136.0	49.0	189.9	980.1	72.2
1984	114.6	393.6	137.6	35.0	23.0	20.1	19.0	0.0	89.7	101.0	71.6	72.7	1077.9	105.0
1985	93.6	35.0	52.0	120.0	4.0	0.0	64.0	19.7	116.0	247.3	208.4	123.4	1083.4	78.1
1986	166.0	35.0	121.0	153.0	17.6	3.0	15.0	67.0	60.0	146.0	197.5	55.0	1036.1	67.0
1987	116.0	104.0	351.0	32.0	17.0	15.0	39.3	40.0	20.3	103.0	180.0	149.0	1166.6	97.4
1988	49.0	39.0	213.0	59.0	8.0	19.0	10.0	8.0	67.0	43.0	103.0	67.6	685.6	57.0
1989	48.7	110.0	133.7	8.8	55.6	83.3	36.8	53.7	32.0	26.2	32.7	125.9	747.4	41.3
1990	85.0	54.0	126.3	66.2	68.5	1.0	31.2	0.0	113.5	142.6	101.8	64.9	855.0	45.7
1991	106.0	93.8	74.5	55.2	73.7	112.4	10.9	23.5	68.2	53.3	88.6	193.0	953.1	47.0
1992	93.5	80.0	151.8	35.9	76.5	5.9	10.9	83.8	29.0	132.3	145.9	129.5	975.0	51.9
1993	132.2	36.0	70.9	112.0	89.8	40.5	0.3	17.1	119.3	64.8	114.0	98.0	894.9	43.3
1994	93.5	53.0	142.0	58.4	78.7	23.0	34.0	124.0	30.0	64.3	33.2	165.0	899.1	47.1
1995	82.0	100.0	141.0	142.0	127.0	8.0	1.0	0.0	8.0	60.7	33.7	44.0	747.4	55.0
1996	154.0	70.7	53.0	148.1	63.6	34.0	12.0	12.7	4.1	91.0	136.5	83.5	863.2	52.9
1997	93.0	31.0	97.0	87.0	8.0	105.0	10.0	7.0	7.0	225.0	55.0	158.0	883.0	68.4
1998	161.0	78.0	13.0	310.0	62.0	2.0	39.0	44.0	20.0	87.0	105.0	65.0	986.0	84.1
1999	112.0	42.0	412.0	32.0	79.1	30.0	38.8	33.0	53.6	72.0	36.0	93.2	1033.7	106.1
2000	88.1	213.3	99.0	20.3	186.2	30.0	5.3	20.6	6.7	254.6	122.4	46.8	1093.3	86.3

2001	96.0	86.5	199.8	87.9	50.1	6.4	5.0	9.0	101.0	120.4	148.0	47.0	957.1	59.9
2002	56.3	66.0	315.0	39.0	26.7	2.0	26.5	115.8	89.8	131.0	116.7	152.0	1136.8	83.9
2003	16.9	142.0	87.0	81.0	21.2	3.7	52.6	0.0	0.0	0.0	37.0	0.0	441.4	45.7
2004	79.5	37.5	67.1	62.5	18.3	0.0	113.4	32.4	0.0	106.8	135.5	268.0	921.0	74.6
2005	108.4	108.9	162.8	5.0	6.5	14.4	23.0	40.7	74.6	41.3	94.7	28.9	709.2	50.2
2006	229.5	61.9	105.0	85.8	0.0	16.4	6.5	13.6	29.0	254.1	38.4	82.4	922.6	84.3
Prom.	106.3	84.5	96.6	72.8	87.1	29.0	19.3	45.6	51.1	82.1	92.9	79.2	846.4	106.3

Tabla B8 Precipitaciones agrupadas por trimestre: *Trimestre 1*, diciembre, enero, febrero; *Trimestre 2*, marzo, abril, mayo; *Trimestre 3*, junio, julio, agosto; y *Trimestre 4*, septiembre, octubre, noviembre; y el promedio anual para cada año, periodo 1911-2006, Pehuajó.

Año	T 1	%	T2	%	T3	%	T4	%	Anual
1911	254.1	33	283.1	37	19.7	3	213.5	28	770.4
1912	269.1	31	199.2	23	74.3	9	329.2	38	871.8
1913	207.9	16	551.3	42	378.7	29	171	13	1308.9
1914	307.6	26	399.4	34	63.8	5	406.5	35	1177.3
1915	280.7	40	224.1	32	14.4	2	180.6	26	699.8
1916	177	31	238.8	41	51.1	9	109.3	19	576.2
1917	238.9	36	267.2	40	51.5	8	108.7	16	666.3
1918	173.3	24	151.8	21	212.4	29	199.2	27	736.7
1919	228.2	22	581	55	110.2	10	137.8	13	1057.2
1920	309.6	41	167.5	22	39	5	246.8	32	762.9
1921	359.6	49	92.1	13	36.9	5	248.2	34	736.8
1922	350.7	45	154.1	20	128.3	16	148.2	19	781.3
1923	256.2	28	201.9	22	246.6	27	208.1	23	912.8
1924	188.5	30	294.3	47	9.7	2	135.1	22	627.6
1925	281.1	35	244	30	57.5	7	227.7	28	810.3
1926	72.4	9	363.8	43	227.8	27	187.1	22	851.1
1927	491.3	61	51	6	34.7	4	227	28	804
1928	161.2	27	249.6	42	37.4	6	141.8	24	590
1929	212.9	28	206.8	27	16.9	2	331.8	43	768.4
1930	272	38	238.3	33	68.2	9	141	20	719.5
1931	295.9	37	104.6	13	196.1	24	207	26	803.6
1932	178.4	23	327.6	42	92.4	12	178.9	23	777.3
1933	331.6	37	284.3	32	16.6	2	265	30	897.5
1934	197.8	25	108.5	14	121.1	16	348.5	45	775.9
1935	215.4	32	191.3	28	128	19	149.1	22	683.8
1936	165.3	24	142	20	71.3	10	314.7	45	693.3
1937	143	28	152.8	30	32	6	188.7	37	516.5
1938	54.2	8	417.4	59	38.4	5	199	28	709
1939	328.3	36	355.9	39	68.7	7	169.1	18	922
1940	273	27	294.1	29	284.4	28	154.1	15	1005.6
1941	354.8	37	361.9	37	122.6	13	130.7	13	970
1942	314.3	41	239.8	31	77.1	10	134.8	18	766
1943	146.1	19	246.4	32	117.2	15	255.4	33	765.1

1944	277.4	33	265.2	31	93.9	11	211.5	25	848
1945	249.5	38	100	15	148.8	23	150.4	23	648.7
1946	332.5	26	370.6	29	213.5	17	367.3	29	1283.9
1947	146.8	20	354.3	49	75.8	11	141.3	20	718.2
1948	200.1	26	339.5	45	62.8	8	160.2	21	762.6
1949	148.1	24	225.6	37	122.4	20	121.5	20	617.6
1950	130.5	20	181.7	28	41.6	6	290.8	45	644.6
1951	323.4	37	212.3	24	46.5	5	292.2	33	874.4
1952	97.2	12	263.3	32	268.8	32	206.5	25	835.8
1953	302.2	37	252	31	37.7	5	216.7	27	808.6
1954	295.6	46	157	24	41.3	6	154	24	647.9
1955	218.3	27	226.5	28	96.5	12	268.8	33	810.1
1956	278.4	37	176.7	23	107.9	14	191	25	754
1957	392.2	30	664.5	51	37.7	3	202.4	16	1296.8
1958	334.5	44	152.9	20	119.2	16	155.8	20	762.4
1959	183.3	29	205.5	32	55	9	188.6	30	632.4
1960	238.9	36	151.3	23	61.3	9	212.9	32	664.4
1961	289.8	39	78.7	11	147.3	20	223	30	738.8
1962	182.4	30	113.6	19	142.1	23	166.7	28	604.8
1963	273.5	24	260.3	23	299	27	292.3	26	1125.1
1964	290.4	27	488.9	45	75	7	233.8	21	1088.1
1965	376.2	43	171.5	19	147.8	17	185.8	21	881.3
1966	296.6	27	386.6	36	114.3	11	282.6	26	1080.1
1967	267.8	29	263.3	28	39.7	4	356.1	38	926.9
1968	286.2	35	119.6	14	214.8	26	206.1	25	826.7
1969	180	24	304.4	40	53.9	7	225.6	30	763.9
1970	293	39	219.1	29	17.1	2	223.3	30	752.5
1971	373.4	36	364.7	35	159.8	15	144.7	14	1042.6
1972	277.3	33	162.7	20	97.3	12	294.3	35	831.6
1973	356.6	44	214.6	26	19.1	2	221.2	27	811.5
1974	648.4	50	408.7	32	122	9	116.5	9	1295.6
1975	316.8	29	612.1	56	49.6	5	112.9	10	1091.4
1976	310.3	37	162.6	19	183.8	22	181	22	837.7
1977	278.2	56	59.3	12	0	0	158.3	32	495.8
1978	129.2	18	182.3	26	43.3	6	359.1	50	713.9
1979	174	34	124.8	24	84.9	16	134.5	26	518.2
1980	151	22	267	39	51	7	221.9	32	690.9
1981	412.2	47	153	17	46	5	267.7	30	878.9
1982	254	23	226	21	51	5	551.7	51	1082.7
1983	495.9	51	265.2	27	34	3	185	19	980.1
1984	580.9	54	195.6	18	39.1	4	262.3	24	1077.9
1985	252	23	176	16	83.7	8	571.7	53	1083.4

1986	256	25	291.6	28	85	8	403.5	39	1036.1
1987	369	32	400	34	94.3	8	303.3	26	1166.6
1988	155.6	23	280	41	37	5	213	31	685.6
1989	284.6	38	198.1	27	173.8	23	90.9	12	747.4
1990	203.9	24	261	31	32.2	4	357.9	42	855
1991	392.8	41	203.4	21	146.8	15	210.1	22	953.1
1992	303	31	264.2	27	100.6	10	307.2	32	975
1993	266.2	30	272.7	30	57.9	6	298.1	33	894.9
1994	311.5	35	279.1	31	181	20	127.5	14	899.1
1995	226	30	410	55	9	1	102.4	14	747.4
1996	308.2	36	264.7	31	58.7	7	231.6	27	863.2
1997	282	32	192	22	122	14	287	33	883
1998	304	31	385	39	85	9	212	22	986
1999	247.2	24	523.1	51	101.8	10	161.6	16	1033.7
2000	348.2	32	305.5	28	55.9	5	383.7	35	1093.3
2001	229.5	24	337.8	35	20.4	2	369.4	39	957.1
2002	274.3	24	380.7	33	144.3	13	337.5	30	1136.8
2003	158.9	36	189.2	43	56.3	13	37	8	441.4
2004	385.01	42	147.91	16	145.8	16	242.31	26	921.03
2005	246.2	35	174.3	25	78.1	11	210.6	30	709.2
2006	373.8	41	190.8	21	36.5	4	321.5	35	922.6
Promedio	270	32	256	30	94	11	226	27	846

B-6.3 Trenque Lauquen Precipitaciones

A continuación se presenta la Tabla B9 de precipitaciones entre 1911 y 2006, en el partido de Trenque Lauquen. En esta se indican los mm de precipitación ocurridos por mes en cada uno de los años, el promedio de todo el periodo para el mes considerado, totales por año y promedio para todo el ciclo analizado, 1911-2006. En la última columna se presenta la desviación estándar (DS), y en Figura C3 su representación gráfica.

Tabla B9 Precipitaciones de Trenque Lauquen, entre 1911 y 2006

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	DS
1911	0	63.3	38.1	11.9	92.4	0	19.7	4.4	13	72.5	173.4	267.4	756	82.0
1912	188.2	113.8	94	25.9	12.8	32.9	7.9	5.4	36.2	193.5	45.6	452.4	1209	129.0
1913	57.9	95.7	134.9	16.1	62.2	18.3	0	118.8	58.4	64.7	70.3	94	791	41.0
1914	366.8	151.2	30.2	109.2	227.9	42.9	52.1	1.1	30.6	221	67.6	253.5	1554	114.4
1915	190.6	306.4	64.2	58.8	51	0	5.9	18.5	48.2	66	88.6	185.1	1083	91.3
1916	132.7	49.1	64.2	56	20.7	2.7	0	40.3	0	25.7	52.9	61	505	37.2
1917	422.3	183.6	59.5	132.3	3.2	37.4	62.9	4.4	92.8	39.4	12.8	76.4	1127	116.3
1918	123.1	222.3	86.5	86.8	0	43.8	9.8	25.1	51.9	93.6	82.2	182.2	1007	66.8
1919	272.7	307.7	243.7	164.5	275.7	84.9	85.5	10.9	40.8	33.9	42	318.9	1881	119.7
1920	16.9	117.6	95.8	49.7	0	8.2	0	0	29.7	96.3	112.3	195.4	722	62.8
1921	195.4	168	87.5	17.2	30.3	0	12.8	0	77.9	150.4	42.9	313	1095	97.2

1922	308.9	147.4	33.5	43.4	59	80.3	5.9	7.6	18.6	90.8	105	85.2	986	83.2
1923	84.5	197.8	104.2	2.8	39.8	22.8	40.3	101.3	35.2	136.7	63	242.4	1071	72.8
1924	253.4	89.2	67.9	98	33.5	25.6	28.5	0	32.5	28.4	26.5	113.1	797	68.4
1925	96.5	436.9	81.9	0	87.7	3.7	105.2	8.7	50.1	32.1	102.2	120.5	1126	116.3
1926	45.8	87.9	229.8	67.2	33.5	16.4	22.6	95.9	14.8	35.8	118.7	174.9	943	67.6
1927	415	37.5	52.1	1.4	0	14.1	40.3	20.7	16.2	94.5	149.7	0	842	117.2
1928	77.2	76.3	59.5	73.5	202.4	0	61.9	6.5	57.5	28.4	66.6	74.9	785	50.8
1929	159.3	73.7	68.8	126.7	14.3	1.8	0	1.1	66.8	124.7	52.9	73.5	764	53.5
1930	236.3	300.8	94.7	27.6	73	0	0	19.4	51.9	32.7	128.9	370.9	1336	124.6
1931	561.6	32.9	155	45.4	0	0	50	105.3	13	68.2	70.8	94.4	1197	152.4
1932	33.8	77.3	308.8	4.5	109.5	0	11.2	84.5	48.4	123.6	30.2	201.8	1034	91.4
1933	236.3	189.1	99.4	29.4	107.4	1.2	6.2	0	175	70	10.4	87.8	1012	80.8
1934	257.8	6.6	130.1	9.8	8.1	9.3	0	30.5	90.8	156.3	243.8	676.5	1620	194.4
1935	58.3	138.1	75.7	3.6	6.1	19.7	0	67.9	1.2	68.8	96.4	231.7	768	68.7
1936	116.6	87.1	8.3	43.6	26.3	20.9	88.7	11.1	43.6	74.1	117.3	89.7	727	39.8
1937	156.5	97	73.4	50.7	91.2	0	0	2.8	36.6	53.7	75.5	74.7	712	46.2
1938	70.6	27.9	107.7	95.3	182.4	23.2	6.2	18	3.5	77	67.3	24.3	703	52.6
1939	248.6	215.4	97	11.6	265.5	52.2	0	18	165	359.3	54.6	149.5	1637	116.7
1940	0	182.5	8.2	35.6	111.5	182.2	47.5	11.6	74.3	0	76.6	0	730	67.2
1941	267	187.4	140.8	31.2	131.7	0	78.7	62.4	0	11.7	95.2	231.7	1238	90.4
1942	27.6	192.3	234.3	18.7	0	0	0	15.2	26	71.2	121.9	136.4	844	81.5
1943	6.1	64.1	165.6	31.2	40.5	95.2	125	1.4	1.2	166.8	125.4	138.3	961	63.7
1944	662.8	29.6	108.9	71.2	56.8	13.9	2.5	8.3	21.2	123.6	41.8	143.9	1285	181.2
1945	147.3	152.9	112.4	58.8	0	4.1	27.5	79	41.3	89.8	24.4	39.2	777	52.1
1946	288.5	133.2	105.3	80.1	180.4	156.1	12.5	65.1	73.1	102.6	168.3	358.8	1724	97.7
1947	67.5	110.1	295.8	45.4	6.1	13.9	7.5	0	22.4	33.8	88.2	29.9	721	81.8
1948	224	6.6	97	22.3	202.7	36	15	26.3	104	68.8	8.1	117.7	928	74.5
1949	110.5	90.4	84	32.9	10.1	0	70	55.4	42.5	103.8	44.1	179.4	823	49.4
1950	46	34.5	31.9	24	85.1	0	13.7	13.9	89.7	127.7	0	280.3	747	79.2
1951	159.6	131.5	34.3	23.1	150	26.7	17.5	0	16.5	51.3	94	200	905	68.5
1952	55.2	46	229.5	0	95.3	96.3	62.5	63.8	103	176.1	75.5	43	1046	61.9
1953	132	177.5	184.6	50.7	32.4	4.6	0	11.1	53.1	191.3	108	87.8	1033	71.7
1954	147.3	106.9	62.7	114	54.7	36	0	5.5	27.7	101.5	29	106.5	792	48.0
1955	178	256.5	85.2	58.8	66.9	15.1	93.7	2.8	35.4	77	102.2	119.6	1091	70.3
1956	362.1	42.7	166.8	0	34.5	29	52.5	40.2	90.8	131.8	124.9	29.9	1105	98.9
1957	73.6	0	151.4	22.3	202.7	60	0	0	20.1	46.7	56.9	271	905	87.7
1958	257.8	16.4	100.6	32.9	0	27.3	168.7	0	89.7	0	39.5	198.1	931	87.3
1959	234.7	46	147.9	0	0	42.3	51.2	22.2	26	205.3	40.9	46.7	863	78.9
1960	282.3	282.8	97	0	0	17.4	92.5	6.9	54.9	85.1	29	57.9	1006	99.1
1961	138.4	126.6	0	72.1	164.2	9.3	43.7	31.9	17.7	143.3	72	59.8	879	56.9
1962	309.9	27.9	24.8	0	0	51.1	143.7	88.7	4.7	67.7	108.2	86	913	86.8
1963	85.9	59.2	230.7	0	105.4	29	15	81.8	42.5	179.6	96.4	237.3	1163	79.8
1964	79.8	77.3	117.1	109.5	75	1.8	37.5	16.6	61.3	40.8	213.6	121.4	952	56.9
1965	280	83.8	22.5	62.3	0	17.4	20	11.1	0	68.8	0	95.3	661	78.6

1966	331.4	106.9	33.1	60.5	50.7	34.8	50	0	0	4.7	193.9	263.5	1130	110.0
1967	123.7	0	0	101.5	121.6	0	18.7	0	136	240.3	69.7	175.7	987	80.6
1968	171.8	0	182.7	0	0	44.2	2.3	88.4	83.7	127.5	119.5	151.9	972	70.4
1969	87.9	209.6	177.5	168.1	162.2	104.6	0	0	0	66.9	104.1	97.2	1178	72.5
1970	398.7	34	114	0	22.7	2	0	0	70	67.3	77.9	175.3	962	113.9
1971	401.4	0	319.7	67	103.3	10	23.7	53	57.9	157.2	2	34	1229	129.8
1972	50	84	67.8	41	18	43.9	5	25	208	53	122.7	156	874	60.7
1973	119	208	225	0	0	102	40	0	10.8	254	52	163	1174	94.9
1974	0	89.9	108.4	48.2	96	31	9	12	21.9	88	21	121.4	647	43.8
1975	89	54	283	217	40	29	0	0	46.4	105	98	33.6	995	86.3
1976	108	0	86	0	159	11	21	93.3	14	72	209	120	893	67.8
1977	147	155.9	151	24	4	16	11	25.2	9	185	75.6	204.3	1008	78.3
1978	467.4	311.2	156.8	0	0	0	28	0	117	118.1	136	69	1403	143.8
1979	137	20	119	45	46	29	21	20	46	41.6	92.8	69	686	39.4
1980	82	80.9	65.4	161	21	5	4	0	6	126	113	99	763	55.5
1981	181	72	110	107	53	21.2	2	0	39.7	73.4	115	148	922	57.2
1982	218	146	81	159	15	63	22.1	2	38	116.3	67.1	43	971	66.2
1983	160	75	128.4	41	46	2	3	66	5	153.6	46	208.2	934	68.9
1984	138.3	291.2	190.6	49	36	23	8	35	110	27	74	112	1094	83.6
1985	114	38	38	106	5	3	113.6	3	116	234.3	209	163.6	1144	79.7
1986	319	77	186	238	4	8	6	83	96	163	115	41	1336	99.0
1987	193	289	436	15	5	20	70.5	57	29	58.4	132	73	1378	130.9
1988	139.5	121.7	535.9	31.8	35.9	7.6	4.3	2.6	156	43.6	98.4	246.1	1423	151.2
1989	116.2	262.5	185.2	3.9	96.9	44.9	36.6	47.6	17.9	93.5	39.7	253.6	1199	88.9
1990	127.9	93.1	179.3	69	267.4	0	17.2	0	73.7	129.8	107.9	159.1	1224	78.6
1991	267.3	16.7	69.9	85.3	89.7	130	17.2	66.4	124	125.7	69.1	258.1	1320	80.4
1992	102.7	103.8	198	16.9	91.5	4.8	2.2	130.3	60	82	80.3	301.6	1174	84.8
1993	494	19.1	3.3	56.9	217.1	33.4	0	5	76.9	38.2	92.4	141	1177	140.2
1994	424.3	79.9	56.4	45.1	78.3	38.2	26.9	25.9	51.6	145.5	5.2	258.1	1235	122.1
1995	228.6	43	89.9	126.8	23.4	2.9	6.5	4.8	13.7	66	44	48	698	65.4
1996	201.5	100.2	186.5	110.4	40.4	20.1	2.2	19.6	11.6	119.7	95.8	213.1	1121	76.5
1997	164	157	133	131	23	129	29	1	50	233	79	194	1323	73.4
1998	199	86	18	243	47	7	26	5	108	88	86	65	978	74.3
1999	119	91	440	107	11	53	38	39	85	111	168	136	1398	111.5
2000	239	148	165	69	231	8	14	24	42	289	86	70	1385	96.7
2001	96	114	289	176	40	18	10	40	179	154.03	182	116	1414	83.2
2002	192	41	310	72	37	5	32	91.5	77	115	162	95	1230	84.8
2003	52	164	149	85	55	9	27	15	19	82.6	212	216	1086	76.1
2004	126	38.01	91	91	18	0	117	52	0	150	147	307	1137	85.9
2005	89	95	211	11	7	30.3	19	71	62.1	61	46.5	31	734	55.4
2006	102	152	137	48	0	7	7	10	26	184	75	108	856	64.3
Prom.	182.6	114.9	131.2	59.2	66.0	27.9	29.3	28.8	52.4	104.4	88.3	152.5	1037.5	

Tabla B10 Precipitaciones agrupadas por trimestre: *Trimestre 1*, diciembre, enero, febrero; *Trimestre 2*, marzo, abril, mayo; *Trimestre 3*, junio, julio, agosto; y *Trimestre 4*, septiembre, octubre, noviembre; y el promedio anual para cada año, Trenque Lauquen.

Año	Total T 1	Total T 2	Total T 3	Total T 4	Anual
1911	330.7	142.4	24.1	258.9	756.1
1912	754.4	132.7	46.2	275.3	1209
1913	247.6	213.2	137.1	193.4	791.3
1914	771.5	367.3	96.1	319.2	1554
1915	682.1	174	24.4	202.8	1083
1916	242.8	140.9	43	78.6	505.3
1917	682.3	195	104.7	145	1127
1918	527.6	173.3	78.7	227.7	1007
1919	899.3	683.9	181.3	116.7	1881
1920	329.9	145.5	8.2	238.3	721.9
1921	676.4	135	12.8	271.2	1095
1922	541.5	135.9	93.8	214.4	985.6
1923	524.7	146.8	164.4	234.9	1071
1924	455.7	199.4	54.1	87.4	796.6
1925	653.9	169.6	117.6	184.4	1126
1926	308.6	330.5	134.9	169.3	943.3
1927	452.5	53.5	75.1	260.4	841.5
1928	228.4	335.4	68.4	152.5	784.7
1929	306.5	209.8	2.9	244.4	763.6
1930	908	195.3	19.4	213.5	1336
1931	688.9	200.4	155.3	152	1197
1932	312.9	422.8	95.7	202.2	1034
1933	513.2	236.2	7.4	255	1012
1934	940.9	148	39.8	490.9	1620
1935	428.1	85.4	87.6	166.4	767.5
1936	293.4	78.2	120.7	235	727.3
1937	328.2	215.3	2.8	165.8	712.1
1938	122.8	385.4	47.4	147.8	703.4
1939	613.5	374.1	70.2	579.1	1637
1940	182.5	155.3	241.3	150.9	730
1941	686.1	303.7	141.1	106.9	1238
1942	356.3	253	15.2	219.1	843.6
1943	208.5	237.3	221.6	293.4	960.8
1944	836.3	236.9	24.7	186.6	1285
1945	339.4	171.2	110.6	155.5	776.7
1946	780.5	365.8	233.7	344	1724
1947	207.5	347.3	21.4	144.4	720.6
1948	348.3	322	77.3	180.7	928.3
1949	380.3	127	125.4	190.4	823.1
1950	360.8	141	27.6	217.4	746.8
1951	491.1	207.4	44.2	161.8	904.5
1952	144.2	324.8	222.6	354.2	1046
1953	397.3	267.7	15.7	352.4	1033
1954	360.7	231.4	41.5	158.2	791.8
1955	554.1	210.9	111.6	214.6	1091
1956	434.7	201.3	121.7	347.5	1105
1957	344.6	376.4	60	123.7	904.7
1958	472.3	133.5	196	129.2	931
1959	327.4	147.9	115.7	272.2	863.2

1960	623	97	116.8	169	1006
1961	324.8	236.3	84.9	233	879
1962	423.8	24.8	283.5	180.6	912.7
1963	382.4	336.1	125.8	318.5	1163
1964	278.5	301.6	55.9	315.7	951.7
1965	459.1	84.8	48.5	68.8	661.2
1966	701.8	144.3	84.8	198.6	1130
1967	299.4	223.1	18.7	445.7	986.9
1968	323.7	182.7	134.9	330.7	972
1969	394.7	507.8	104.6	171	1178
1970	608	136.7	2	215.2	961.9
1971	435.4	490	86.7	217.1	1229
1972	290	126.8	73.9	383.7	874.4
1973	490	225	142	316.8	1174
1974	211.3	252.6	52	130.9	646.8
1975	176.6	540	29	249.4	995
1976	228	245	125.3	295	893.3
1977	507.2	179	52.2	269.6	1008
1978	847.6	156.8	28	370.8	1403
1979	226	210	70	180.4	686.4
1980	261.9	247.4	9	245	763.3
1981	401	270	23.2	228.1	922.3
1982	407	255	87.1	221.4	970.5
1983	443.2	215.4	71	204.6	934.2
1984	541.5	275.6	66	211	1094
1985	315.6	149	119.6	559.3	1144
1986	437	428	97	374	1336
1987	555	456	147.5	219.4	1378
1988	507.3	603.6	14.5	297.9	1423
1989	632.3	286	129.1	151.1	1199
1990	380.1	515.7	17.2	311.4	1224
1991	542.1	244.9	213.6	319.1	1320
1992	508.1	306.4	137.3	222.3	1174
1993	654.1	277.3	38.4	207.5	1177
1994	762.3	179.8	91	202.3	1235
1995	319.6	240.1	14.2	123.7	697.6
1996	514.8	337.3	41.9	227.1	1121
1997	515	287	159	362	1323
1998	350	308	38	282	978
1999	346	558	130	364	1398
2000	457	465	46	417	1385
2001	326	505	68	515	1414
2002	328	419	128.5	354	1230
2003	432	289	51	313.6	1086
2004	471	200	169	297	1137
2005	215	229	120.3	169.6	733.9
2006	362	185	24	285	856
Promedio	450.0	256.5	86.0	245.1	1037.5

En la Tabla B11, se presenta una comparación de precipitaciones mensuales y anuales (mm) para el período, 1997 a 2004 de partidos del noroeste bonaerense.

Tabla B11 Comparación de precipitación mensual y anual de varios partidos del noroeste de Buenos Aires (1997-.2004)

Mes	Alberti	Belgrano	Villegas	Junin	Lincoln	9de Julio	Pehuajo	T.lauquen
E	174	163	61	192	178	248	93	164
F	112	70	62	57	74	116	31	157
M	54	16	135	75	109	74	97	133
A	112	101	34	71	88	141	87	131
M	48	71	22	49	31	0	8	23
J	106	100	47	71	114	187	105	129
J	6	18	9	13	12	30	10	29
A	15	85	4	8	24	31	7	1
S	12	33	45	34	23	71	7	50
O	76	191	155	146	179	140	225	233
N	143	137	92	82	131	133	55	79
D	167	139	401	207	198	179	158	194
1997	1024	1122	1068	1006	1158	1350	882	1323
E	229	61	118	91	169	158	161	199
F	179	51	159	170	160	122	78	86
M	112	105	31	62	41	72	13	18
A	167	314	144	109	179	160	310	243
M	116	80	22	93	51	103	62	47
J	4	11	26	3	8	3	2	7
J	22	42	30	36	47	38	39	26
A	23	15	37	10	10	11	44	5
S	16	66	46	22	15	32	20	108
O	93	106	68	67	65	139	87	88
N	77	68	88	118	119	89	105	86
D	79	82	98	138	149	93	65	65
1998	1116	999	866	921	1011	1021	986	978
E	113.7	123	103.3	125.9	135	71.2	112	119
F	209.2	155	24.8	140	76	94.5	42	91
M	161.7	263	177.3	170.5	276	272.6	412.2	440
A	18.5	32	94	40.4	31.5	39	32	107
M	19.5	82	11.2	9.8	28.5	12.9	79.1	11
J	8.5	31	35	18	12.5	9.9	30	53
J	16.8	152.5	16.8	17.6	30.9	47.3	38.8	38
A	42	85	26	34.6	22	29.4	33	39
S	67.5	109	61.2	66.9	72.3	82.2	53.6	85
O	40.5	18.5	121.5	8.6	107.2	53.3	72	111
N	58	65	110	42	53	116	36	168
D	42.5	32	114.5	61.7	88.6	90.6	93.2	136
1999	797.9	1148	895.1	736	933.8	919.1	1033.5	1398
E	48	127	58.5	58.3	74	67.9	88.1	239
F	126.5	113	70.7	182.4	79	141.3	213.3	148
M	82	74	168.7	111.3	91.2	54.8	99	165
A	132	219.2	58	149	181.5	185.5	20.3	69
M	295.8	306	163.1	307.8	248.2	311.4	186.2	231
J	52	87	18	25.1	19.2	19.6	30	8
J	1	47	3	1.7	3	3.8	5.3	14

A	37	89	6.2	14.3	11.1	21.9	20.6	24
S	58	75	14.6	33.7	22.3	34.2	6.7	42
O	186.5	194	171	254.3	210	187.2	254.6	289
N	136.5	126	171.8	122.6	148.5	120.5	122.4	86
D	54	145	28	14.7	6.4	72.1	46.8	70
2000	1209.3	1602.2	931.6	1275.2	1094.4	1220.2	1093.3	1385
E	308	184	130.5	233	142	147.6	96	96
F	193	147	21.6	273.8	51.5	71.7	86.5	114
M	198	261	258.5	261.2	378	414.8	199.8	289
A	67.5	44	157.1	85.8	102.6	86.3	87.9	176
M	62.5	109	33.5	59.4	83.7	58.9	50.1	40
J	26.5	36	9.9	17.7	37.2	25.2	6.4	18
J	26	64	3	18	10.2	12	5	10
A	171	166	51.3	135	104	121.2	9	40
S	126.5	25	129.3	110.8	78.5	116.9	101	179
O	192	287	138	264.6	229.5	219	120.4	154.03
N	127.5	198	119.6	134.6	94.2	109.7	148	181.99
D	57	33	76	83.3	30.5	66.5	47	116
2001	1555.5	1554	1128.3	1677.2	1341.9	1449.8	957.1	1414.02
E	49	26	218	115.2	125.5	99.1	56.3	192
F	36	72.5	24	44.6	32.4	38.3	66	41
M	357.5	469.5	121.8	349.1	424	565.1	315	310
A	80	63	50	65	55.5	55.2	39	72
M	91.5	105	56.2	118.6	92	92.8	26.7	37
J	0	5	2.5	3	0.7	0.7	2	5
J	20.5	39	12	17.6	18.5	28.4	26.5	32
A	121.5	103	58	82	93.5	102.6	115.8	91.5
S	36	80.5	28	20.5	34	43.4	89.8	77
O	171.5	155.5	208	187	126	140.1	131	115
N	171.5	166	132	149	214.6	131.4	116.7	162
D	133	84	207	169	183.8	118	152	95
2002	1268	1369	1117.5	1320.6	1400.5	1415.1	1136.8	1229.5
E	30	25	42	57.7	41.8	11.3	16.9	52
F	332	162.5	124.5	186.8	197	175.5	142	164
M	97.5	111	90.5	134	56	133.1	87	149
A	99	85	67.5	147	175.5	104	81	85
M	48	125.6	0	52.9	29	74	21.2	55
J	32	40	0	19.1	17	15.4	3.7	9
J	110	56.5	5	98.1	115	94.5	52.6	27
A	21.5	32	0	21.2	22	22.9	0	15
S	26	30.5	11.5	21.8	24.7	52.3	0	19
O	76.5	112	36.3	86	64.3	84.3	0	82.6
N	128.5	223.5	84	126.5	100	135.7	37	212
D	66.5	59	28.7	71	80.9	77.1	0	216
2003	1067.5	1062.6	490	1022.1	923.2	980.1	441.4	1085.6
E	68	84	266.8	128.3	184.8	111.6	79.51	125.98
F	46.5	32	28.2	20	20.5	34.3	37.51	38.01
M	71	37.5	36.5	54	33.4	60.8	67.11	91
A	161.8	157	105.1	134	158	136.6	62.5	91

M	33.5	34.5	86	93.5	68	29.5	18.31	18
J	15.5	36.5	0	1	0.8	15.8	0	0
J	39	36.5	48	44.1	71.1	68.8	113.4	117
A	69	153	22.8	67.5	51.5	69.5	32.4	52
S	11.5	38	0	11	1.4	7.2	0	0
O	68.5	40	132.5	66.2	85	81	106.81	149.99
N	169.5	203	111	111.9	110.1	77.6	135.5	146.99
D	188	37	109.8	229.7	155.5	197.6	267.99	306.99
2004	941.8	889	946.7	961.2	940.1	890.3	921.04	1136.96

⇒ ANEXO B-7 Argentina, el clima y sus cambios

En este apartado, se amplía lo referente a los cambios señalados en el clima, y sus orígenes, a nivel mundial y en la Argentina (Magrin, 2007), y en la pradera pampeana en particular (González, 1993; Ravelo *et al.*, 2000; Fernández-Long *et al.*, 2004; Coronel y Sacchi, 2005).

Magrin (2007), quien es Coordinadora del Capítulo de América Latina del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de Naciones Unidas, señala:

- Desde mediados del siglo XIX la temperatura media del planeta se está elevando a tasas crecientes, llegando a incrementos de 1.8°C/siglo en los últimos 25 años
- En América del Sur, durante las últimas décadas del siglo XX se registraron aumentos significativos de las lluvias en el sur de Brasil, Uruguay, centro y noreste de Argentina, noroeste de Perú y Ecuador
- Reducciones de precipitación en el centro-sur de Chile, sudoeste de Argentina y sur de Perú
- en las 3 últimas décadas ocurrieron dos mega-ENSO (1982-83 y 1997-98) y otros eventos extremos (lluvias más intensas para el período 1960–2000).
- en zonas secas como, centro y norte de Chile, costa de Perú, noreste de Brasil, Chaco seco, Cuyo Central, y *noroeste de Argentina*, entre otras, han padecido grandes impactos debido a pérdidas productivas relacionadas con la degradación ambiental
- los cambios del clima observados en el sudeste de Sudamérica especialmente el aumento de las lluvias, condujeron a incrementos en los rendimientos de los cultivos de verano (soya, maíz, y girasol), en la productividad de las pasturas, y rendimientos de trigo sembrados en el sur y en el oeste de la región, y contribuyeron en forma contundente a la expansión de las fronteras agrícolas y del área sembrada con cultivos anuales.
- también hubo impactos adversos como reducciones en la productividad de trigo en el norte de América del Sur y aumento de incidencia de algunas enfermedades fúngicas como *fusarium* en el cultivo de trigo
- la deforestación es un problema grave en América del Sur La selva Amazónica (un ecosistema relevante para el equilibrio de la biosfera) está amenazada por la expansión de cultivos anuales, áreas de pastoreo, asentamientos humanos y redes viales.
- para el año 2010 América del Sur podría perder 18 millones de hectáreas de bosques, que se incorporarían al sistema de producción de cultivos anuales y pasturas, fenómeno que podría generar graves consecuencias sobre el ambiente, la biodiversidad y el clima de la región.
- la desertificación, de vastas regiones del continente, provoca pérdidas del 4 al 8% del PBI en varios países en desarrollo. Se prevé que para el año 2050 cerca del 50 por ciento de las tierras agrícolas de zonas áridas y semi-áridas de América Latina como la

costa Peruana, el norte y centro de Chile, noreste de Brasil, el gran Chaco árido y semiárido, el oeste y noroeste de Argentina, y varias zonas de Meso América, sufran procesos de salinización y desertificación.

- es importante destacar que los ambientes degradados suman otro factor de estrés al cambio climático, y en consecuencia incrementan la vulnerabilidad (?) y reducen la capacidad de reacción de los sistemas.
- de acuerdo con el último informe del IPCC, hacia fines del siglo XXI la temperatura. En América del Sur aumentaría entre 1,8°C y 7,5°C siendo los aumentos mayores en las zonas intertropicales, y es muy probable que las lluvias sigan aumentando en el sudeste de América del sur.
- para mediados de siglo, y bajo el escenario que prevé los mayores aumentos de temperatura, la productividad de los cereales se vería perjudicada en las regiones intertropicales
- Argentina, Canadá, varios países de Europa (especialmente los del norte) y Australia serían algunas de las zonas menos afectadas, que podrían incluso beneficiarse si los efectos biológicos del aumento de CO₂ logran revertir el impacto del aumento de temperatura.

González (1993) plantea que el problema de las inundaciones en la región pampeana, y en especial en el noroeste de Buenos Aires se relata desde siempre y que no pueden darse conclusiones al respecto sin analizar el pasado regional y mundial. Destaca los siguientes puntos:

- A mediados del siglo XIX el planeta sufría un enfriamiento por una pequeña era del hielo, trayendo aparejado la disminución de precipitación y con esto sequía.
- En 1876 hay datos de dunas activas en la región de Trenque Lauquen y Pehuajó. Estas dunas fijadas en esta era, removilizadas en 1930, fines de 1950 y ahora fijadas, forman parte de una región triangular con vértice en La Flores (centro de Buenos Aires) y los otros 2 vértices que limitan con La Pampa y Córdoba, por lo tanto estas dunas pudieron cubrir cualquier cauce que existía en la región y no dando la posibilidad de avenamiento. Las encadenadas (lagunas) quedaron reducidas por falta de lluvia de la pequeña edad del hielo (Figura 2.2).
- Esto se produjo por los enfriamientos y calentamientos mundiales:
 - o Durante enfriamientos mundiales, en la región pampeana dominaron vientos secos del oeste y del sudoeste, generando la aridez extrema que formó las dunas mencionadas.
 - o De modo inverso, durante calentamientos mundiales se incrementaron los vientos húmedos del este, las lluvias crecieron en toda la región: las dunas que se habían formado previamente, se fijaron con vegetación y las lagunas crecieron hasta su nivel mayor.
- El hombre se establece en donde hay agua o donde hay fácil acceso a la misma pero no tiene en cuenta que hay lagunas que no están presentes por la falta de agua, como las lagunas de Guamini y Carhue, entre otras (Figura 2.18), y cuando abunda la lluvia ésta se acumula en depresiones del paisaje.

Ravelo *et al.* (2000), en **la región pampeana y Córdoba**, utilizan el índice Palmer entre 1970 y 1998 en dos localidades Río Cuarto en Córdoba y Ceres en Santa Fe (Figura C5, extraídas de Ravelo *et al.* (2000) donde se aprecia una variabilidad muy marcada entre sequía extrema y humedad severa. Para la *pradera pampeana* en general, sólo analizan un año, 1999-2000, y encuentran variaciones muy marcadas que van desde sequía extrema hasta condiciones de humedad extrema.

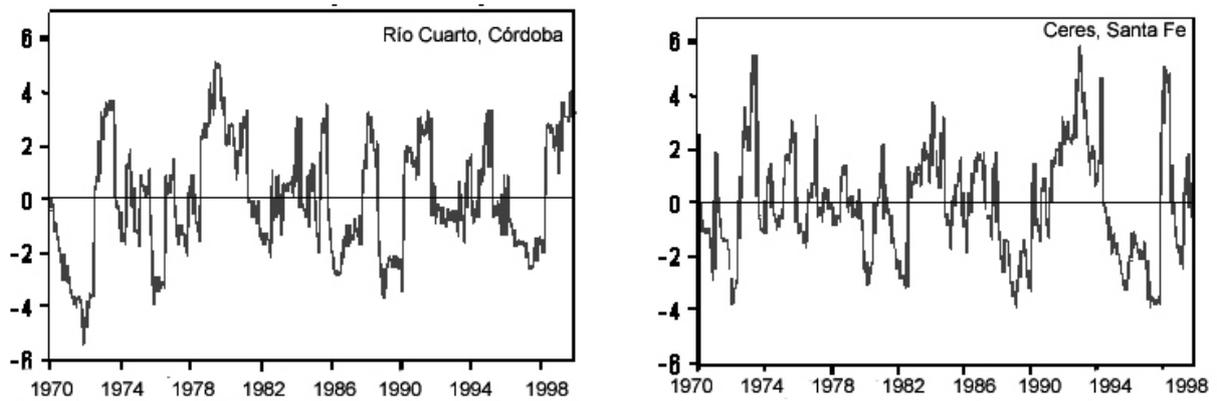


Figura C5 Evolución del Índice Palmer en dos localidades Río Cuarto en Córdoba y Ceres en Santa Fe (extraídas de Ravelo *et al.*, 2000).

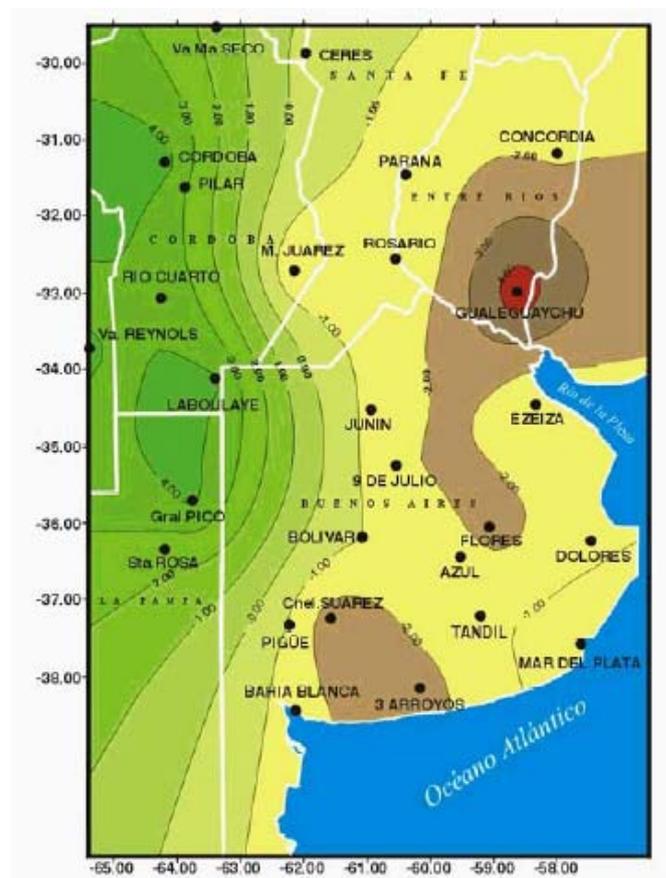


Figura C6 Distribución del índice de Palmer en la pradera pampeana en octubre de 1999 (extraída de Ravelo *et al.*, 2000). Color rojo, sequía extrema; tonos de marrón severa y moderada; tono amarillo, incipiente y moderada, y tonos verdes, la humedad aumenta, desde índice 0, normal, y 1 hasta 4 (incipiente a severa humedad)

Estos autores, indican que según el valor del índice, las sequías se categorizan en: *sequía incipiente* (-1,00 a -1,99); *moderada* (-2,00 a -2,99); *severa* (-3,00 a -3,99) y *extrema* (-4,00 o inferior), condiciones normales-0,99 y 0,99, y para condiciones de *excesos de humedad*, humedad incipiente (1,00 a 1,99); humedad moderada (2,00 a 2,99); humedad severa (3,00 a 3,99) y humedad extrema (4,00 o superior).

Con base en la Figura C6 (extraída de Ravelo et al. 2000) se observan sequías extremas en Entre Ríos, con epicentro en Gualeguaychú con índice -4 (color rojo), y va disminuyendo la severidad de la sequía tomando valor de -2 hacia el oeste (color marrón claro) y continua disminuyendo dicha severidad a partir de las localidades del noroeste bonaerense, entre -2 y -1 color amarillo, luego entre -1 y 0 verde claro, y hacia el oeste con valores del índice de 4, tonos verdes mas intensos. Consecuentemente, la región se ubica en un ámbito con humedad entre moderada a severa, pero incrementando la severidad de la humedad hacia el oeste.

Se aprecia entonces, que estos autores, coinciden con lo obtenido en la presente tesis respecto a la alta variabilidad y la alternancia entre sequía y exceso hídrico para un mismo sitio en períodos de varios años, y en este caso además, muestra la alta variabilidad dentro de un mismo año dentro de una región, en este caso, la región pampeana.

Fernández-Long *et al.* (2004) analizan **las heladas en la región pampeana**, comparan 1964-1993 respecto al periodo 1994-2003, y encuentran variaciones importantes en toda la región. La mayor parte de la región pampeana sufrió un atraso en la fecha media de primer helada de 10 días aproximadamente, llegando a más de 20 días en el Sudeste de Córdoba. Registrando un comportamiento opuesto el sur de la provincia de Buenos Aires con un adelanto de 5 días en la presentación de la primera helada. Con respecto a la aparición de las últimas heladas, se observa que existe una gran región que abarca el centro de Buenos Aires, Entre Ríos, norte de Córdoba y centro-norte de Santa Fe, donde se produce un retraso de la fecha media de la última helada en aproximadamente 5 días, llegando hasta 13 en Tandil. El resto de la región presenta un comportamiento contrario, adelantándose pasando de 5 días hasta más de 10 en La Pampa y región costera este de Buenos Aires. También indican que la diferencia en el porcentaje de años con heladas tempranas y tardías son pocas, pero si hubo cambios importantes en el número de días con heladas para casi toda la región pampeana, llegando a 29 días. Estos autores, no analizan a que se puede asociar esta variación. Es en parte coincidente con lo indicado por Berton *et al.* (en Echeverría *et al.*, 2006).

No obstante, el panorama no resulta claro, las variaciones son importantes, y no pareciera que encuentren un patrón definido que pueda ser de algún modo asociado con otros eventos o situaciones que puedan estar determinando el cambio en la ocurrencia de heladas.

Coronel y Sacchi (2005) analizan los eventos secos y húmedos entre 1973-2002 del sur de Santa Fe mediante el IPE (índice precipitación estandarizado a escala trimestral) y hace un estudio entre las anomalías de precipitación de la región, y las anomalías de temperaturas en el océano Pacífico relacionando esto con el fenómeno del Niño. Establecen correspondencias en la forma en que la precipitación ocurren de mayor a menor (verano, primavera, otoño, e invierno), y mensualmente. Encuentran que los fenómenos locales y/o regionales de eventos hídricos extremos tienen una estrecha relación con la circulación atmosférica, y especialmente con sus anomalías, en escala sinóptica (*dimensión de los sistemas migratorios de alta y baja presión en la troposfera cubriendo un área horizontal de 1,000 a 2,500km*) y global. Ellos citan a otros así como a trabajos previos de ellos, en que explican sequías extremas del país (1965, 1998) por cambio de presión y circulación atmosférica tomando como base el sur de la provincia de Santa Fe, y citan a Scian (2000) quien relaciona la variabilidad de la lluvia en la zona semiárida pampeana con índices de circulación, como el Índice de Oscilación Sur.

Por último, destacan lo señalado por Penalba (1998) para la región de la Pampa Húmeda, en relación que la precipitación muestra valores por encima de los normales en los eventos "El Niño" y precipitación por debajo de lo normal en los eventos "La Niña". Coronel y Sacchi (2005) concluyen que en el sur santafesino, para el periodo estudiado (1973-2002) la duración alcanzada por los eventos secos es mayor que los húmedos.

ANEXO C PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

En Figura C1 del Anexo C, las 18 sub-escenas de las imágenes satelitales correspondientes a fechas comprendidas entre el 12 de marzo de 1997 y 21 de agosto de 2006, a las cuales se les aplicó el algoritmo Tasseled Tab

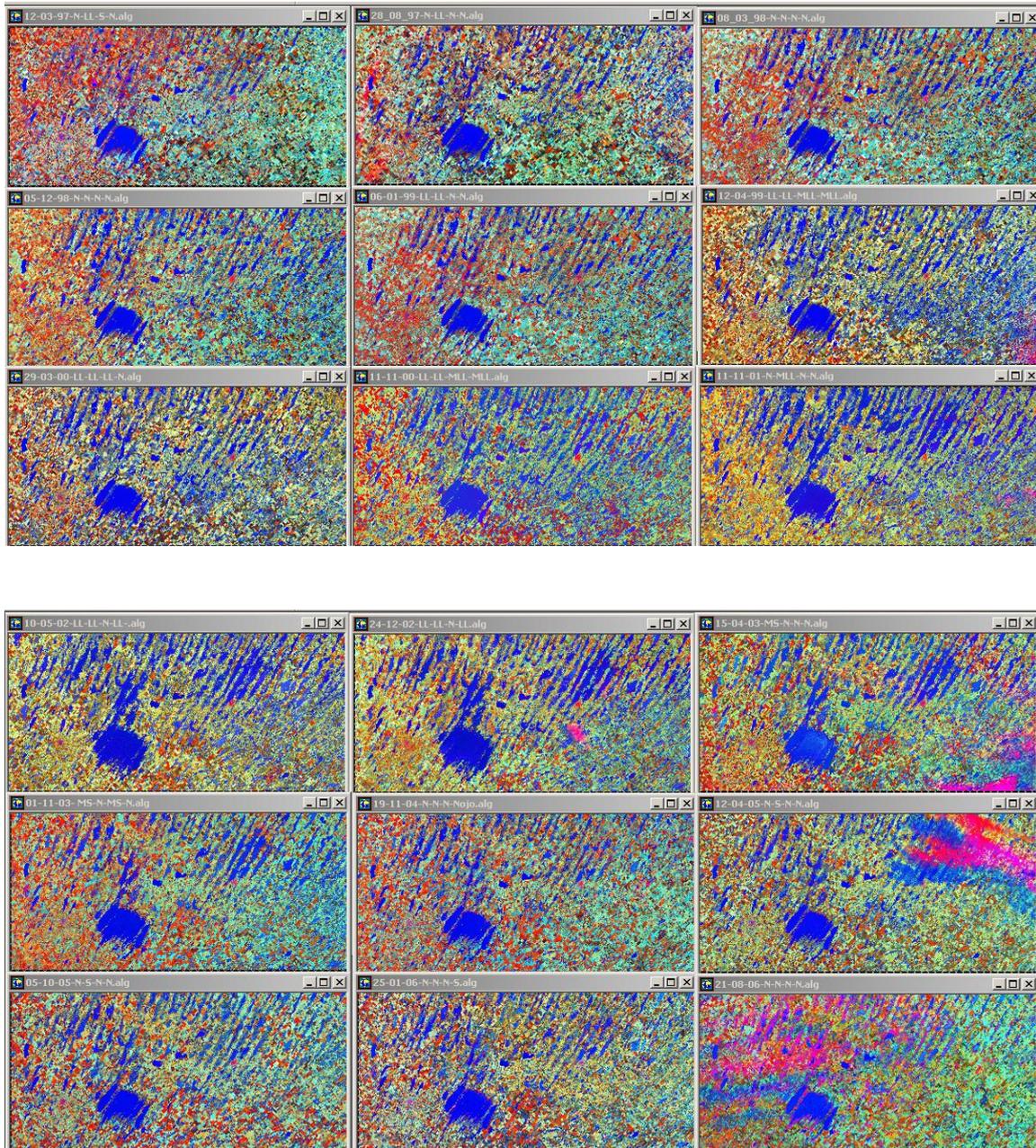


Figura C1: Sub-escenas de las imágenes satelitales correspondientes a 18 fechas, entre 12 de marzo de 1997 y 21 de agosto de 2006, con algoritmo Tasseled Tab,

En la Tabla C1 del Anexo Imágenes, se presentan las coordenadas geográficas, Gauss Kruger Faja 4 (GKF4- WGS84) sistema utilizado en Argentina, y el sistema de coordenadas UTM, de uso en México (SUTM19 - WGS84).

Tabla C1 Coordenadas geográficas de sector de estudio en la localidad de Berutti, Trenque Lauquen

	GKF4- WGS84		SUTM19 WGS84	
	Y	X	Y	X
1A	4539572	6043473		
2NA	4539787	6043665	539771	6043283
3A	4540549	6043750	540533	6043368
4NA	4540709	6043962	540693	6043579
5A	4542848	6042318	542831	6041936
6NA	4540262	6046155	540246	6045772
7A	4540045	60461	540427	62287
8NA	4546321	6041294	546302	6040913
9A	4546361	6041314	546342	6040933
10A	4543866	6049527	543848	6049142
11NA	4543781	6049558	543763	6049173
12A	4546651	6052886	546632	6052500
13NA	4546769	6052719	546750	6052333
14A	4547338	6051133	547319	6050748
15NA	4547574	6050865	547555	6050480
16A	4547765	6051223	547746	6050838
17A	4546874	6053819	546855	6053433
18NA	4546770	6053827	546751	6053441
19A	4547427	6054649	547408	6054262
20NA	4547293	6054798	547274	6054411
21A	4546291	6048912	546272	6048527
22NA	4546381	6048851	546362	6048467

ANEXO D, AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Tabla D1 Resultados de los análisis químicos por ICP de las aguas estudiadas en la presente tesis (concentraciones en mg/l). HCO₃⁻ medido por valoración (alcalinidad)

Muestra	HCO3	SO4	Cl	F	Br	I	NO3	NO2	PO4	As	Li	Si
AC1	860.48	125.00	130.00	0.58	0.53	1.88	9.59	0.001	0.0800000	0.0158	0.026	37.60
AC2	547.58	264.00	764.00	0.50	2.60	2.13	15.60	0.001	0.2000000	0.0135	0.045	43.80
AC3	495.43	2,530.00	4,980.00	0.01	15.00	2.45	17.00	0.001	0.8000000	0.0089	0.100	48.00
AC4	78.23	263.00	60.60	0.44	0.01	0.06	0.50	0.001	0.0300000	0.0028	0.054	6.20
AC5	234.68	455.00	133.00	0.29	0.01	0.07	5.27	0.001	0.0600000	0.0029	0.079	11.10
AC6	78.23	219.00	52.20	0.74	0.01	0.09	0.10	0.001	0.0300000	0.0117	0.044	29.90
AC7	52.15	806.00	312.00	0.40	0.20	0.31	0.30	0.001	0.0900000	0.0307	0.063	38.30
AC8	130.38	263.00	70.50	0.44	0.01	0.13	0.37	0.001	0.0400000	0.0068	0.059	5.20
AC9	78.23	25.60	2.72	0.35	0.01	0.12	0.01	0.001	0.0200000	0.0015	0.007	0.10
AC10	391.13	251.00	71.50	1.00	0.20	0.20	5.59	0.001	0.0500000	0.0037	0.054	21.10
AC11	130.38	245.00	137.00	0.42	0.35	0.30	0.26	0.001	0.0400000	0.0102	0.039	28.10
AC13	182.53	525.00	1,020.00	0.01	2.00	0.06	0.01	0.001	0.0010000	0.0056	0.0200	0.10
AC14	547.58	464.00	1,250.00	0.01	3.40	0.27	32.50	0.001	0.0010000	0.0148	0.0500	35.00
AC15	860.48	265.00	721.00	0.40	2.10	0.26	0.01	0.001	0.0010000	0.0280	0.0400	16.00
AC16	130.38	176.00	442.00	0.10	1.20	0.04	3.00	0.001	0.3000000	0.0027	0.0160	4.20
AC17	182.53	192.00	840.00	0.20	2.60	0.11	1.50	0.001	0.0010000	0.0081	0.0190	7.80
AC18	130.38	74.80	164.00	0.79	0.49	0.10	16.10	0.001	1.2000000	0.0100	0.0110	9.80
AC19	83.44	8.39	14.30	0.05	0.04	0.01	3.33	0.001	0.2300000	0.0013	0.0040	3.30
AC20	495.43	1,670.00	2,650.00	0.01	7.60	0.81	0.01	0.001	0.0010000	0.0219	0.0200	3.00
AC21	443.28	382.00	2,630.00	0.01	7.80	0.40	44.40	0.001	0.0010000	0.0080	0.0001	30.00
AC22	1,381.98	505.00	2,280.00	3.00	5.80	0.69	8.60	0.001	0.0010000	0.0813	0.0500	22.00
AC23	860.48	290.00	534.00	2.20	2.10	0.38	0.01	0.001	0.0010000	0.1350	0.0600	12.00
AC24	1,277.68	347.00	415.00	3.70	1.60	0.38	2.20	0.001	0.0010000	0.1060	0.0300	30.00
AC25	1,329.83	289.00	293.00	4.40	1.40	0.42	1.50	0.001	0.0010000	0.2100	0.0260	27.50
AC26	651.88	333.00	821.00	2.00	2.00	0.24	7.90	0.001	1.0000000	0.0391	0.0160	24.70
AC27	860.48	8.78	28.30	0.01	0.20	0.08	1.30	20.600	25.8000000	0.0095	0.0010	23.90
AC28	78.23	926.00	2,240.00	0.01	6.50	0.31	0.01	1.000	0.0010000	0.0110	0.0200	2.00
AC29	286.83	347.00	603.00	0.70	1.70	0.13	2.70	0.001	0.0010000	0.0222	0.0200	26.00
AC30	338.98	20.90	24.70	0.42	0.20	0.04	2.00	0.001	0.0010000	0.0029	0.0120	25.50
AC31	1,590.58	386.00	642.00	3.10	2.00	0.41	2.00	0.001	0.0010000	0.4580	0.0300	27.00
AC32	182.53	92.00	151.00	0.56	0.42	0.07	1.60	0.050	0.0010000	0.0098	0.0080	24.20
AC33	756.18	521.00	1,360.00	1.00	4.20	0.23	2.70	0.001	0.0010000	0.0324	0.0320	24.10
AC34	599.73	3,550.00	10,500.00	0.01	30.00	0.80	10.00	0.001	0.0010000	0.0240	0.2000	20.00
AC35	338.98	1,340.00	3,230.00	2.00	9.70	0.40	2.00	0.001	0.0010000	0.0360	0.0001	0.10
AC36	234.68	262.00	439.00	0.30	1.60	0.20	16.20	0.200	0.0010000	0.0066	0.0170	30.10
AC37	391.13	45.50	69.40	0.20	0.30	0.16	4.77	0.001	1.4000000	0.0118	0.0210	20.80
AC38	130.38	3,060.00	5,890.00	0.01	16.00	0.30	0.01	0.001	0.0010000	0.0010	0.0001	0.10
AC39	599.73	3,120.00	6,760.00	0.01	17.00	0.70	0.01	3.000	0.0010000	0.0260	0.0001	0.10
AC40	391.13	2,940.00	4,920.00	1.00	13.00	0.66	0.01	2.000	0.0010000	0.0272	0.0700	0.10
AC41	495.43	2,450.00	1,970.00	3.00	4.00	0.72	0.01	0.001	0.0010000	0.0303	0.2400	5.00
AC42	1,225.53	1,250.00	2,040.00	4.00	6.00	0.57	0.01	0.001	0.0010000	0.2210	0.0300	3.00
AC43	1,381.98	14,100.00	28,600.00	5.00	50.00	0.90	0.01	0.001	0.0010000	0.4270	0.0001	0.10
AC44	1,277.68	1,720.00	4,520.00	5.00	11.00	0.79	0.01	0.001	0.0010000	0.2230	0.0200	3.00
AC45	286.83	1,740.00	4,480.00	4.00	11.00	1.40	0.01	0.001	0.0010000	0.0320	0.0001	0.10
AC46	338.98	1,070.00	2,150.00	0.01	5.90	0.43	0.01	0.001	0.0010000	0.0192	0.0200	5.00
AC47	547.58	70.30	150.00	1.70	0.20	0.13	3.90	0.001	0.0010000	0.0530	0.0150	24.00
AC49	547.58	32.20	48.80	2.00	0.20	0.13	3.33	0.001	0.0010000	0.1270	0.0200	30.00
AC50	756.18	1,530.00	1,740.00	1.00	5.30	0.90	0.01	0.001	0.0010000	0.3000	0.0330	5.20
AC51	599.73	708.00	948.00	0.70	3.00	0.53	2.00	0.001	0.0010000	0.1740	0.0200	8.90

Muestra	Na	K	Mg	Ca	Sr	Mn	Fe	Ba	Zn	Ni	Cu
AC1	335.00	38.70	33.70	48.30	0.880	0.001	0.0000010	0.092900	0.020900	0.0034000	0.006300
AC2	384.00	58.90	134.00	151.00	2.840	0.0002	0.0000010	0.211000	0.006300	0.0025000	0.006900
AC3	3,483.70	120.00	376.00	254.00	7.690	0.0020	0.0000010	0.063000	0.032000	0.1090000	0.076000
AC4	56.10	3.15	15.20	107.00	1.010	0.0009	0.0000010	0.017100	0.007400	0.0011000	0.000100
AC5	72.50	5.28	43.10	207.00	2.410	0.0003	0.0000010	0.025300	0.002100	0.0005000	0.000400
AC6	65.80	7.37	9.56	72.90	0.750	0.0007	0.0000010	0.015900	0.003300	0.0038000	0.000100
AC7	233.00	26.50	18.60	285.00	2.040	0.0041	0.0000010	0.025000	0.004500	0.0092000	0.003200
AC8	59.20	2.81	16.30	111.00	1.060	0.1190	0.0000010	0.036500	0.002700	0.0013000	0.000500
AC9	13.70	3.57	3.73	23.50	0.120	0.0014	0.0000010	0.016400	0.002600	0.0007000	0.003000
AC10	148.00	9.43	15.80	116.00	0.680	0.0008	0.0000010	0.079500	0.006700	0.0018000	0.003400
AC11	139.00	12.20	13.70	82.60	0.650	0.0202	0.0000010	0.080400	0.004500	0.0047000	0.002000
AC13	809.00	34.60	50.20	42.00	1.420	0.0270	0.0000010	0.050000	0.009000	0.0650000	0.000100
AC14	754.00	40.50	134.00	121.00	2.190	0.0730	0.0000010	0.059000	0.028000	0.0250000	0.003000
AC15	1,130.00	38.60	75.40	32.00	0.921	0.1540	0.0000010	0.067000	0.012000	0.0600000	0.000100
AC16	140.00	19.10	8.80	13.90	0.153	0.0143	0.0000143	0.014200	0.016800	0.0098000	0.004800
AC17	486.00	48.20	24.00	32.00	0.450	0.0054	0.0000010	0.030400	0.015600	0.0253000	0.010200
AC18	108.00	35.20	2.94	16.10	0.082	0.0107	0.0000107	0.021200	0.024000	0.0171000	0.013000
AC19	9.41	7.92	1.96	15.80	0.070	0.0834	0.0000010	0.021600	0.022200	0.0053000	0.004400
AC20	2,250.00	78.70	121.00	31.00	1.680	0.0130	0.0000010	0.056000	0.008000	0.2800000	0.008000
AC21	1,010.00	59.00	241.00	330.00	4.140	0.0001	0.0000010	0.190000	0.000100	0.0001000	0.000100
AC22	1,960.00	48.00	78.60	20.00	1.450	0.0110	0.0000110	0.164000	0.077000	0.0760000	0.018000
AC23	755.00	26.80	49.10	24.00	1.020	0.0210	0.0000010	0.039000	0.436000	0.0360000	0.000100
AC24	815.00	26.00	57.80	20.00	0.994	0.0210	0.0000010	0.035000	0.031000	0.0550000	0.000100
AC25	775.00	46.60	27.70	10.80	0.580	0.0096	0.0000096	0.040500	66.000000	0.0520000	0.005200
AC26	937.00	45.70	26.40	15.20	0.360	0.0130	0.0000130	0.017500	0.023300	0.0453000	0.009500
AC27	41.80	117.00	16.30	35.00	0.180	0.6940	0.0006940	0.029700	0.032700	0.0041000	0.004000
AC28	1,560.00	58.30	133.00	86.00	1.720	0.0600	0.0000600	0.040000	0.027000	0.1130000	0.009000
AC29	593.00	14.20	42.60	41.00	0.994	0.0030	0.0000010	0.032000	0.013000	0.0260000	0.000100
AC30	80.20	6.99	20.60	37.20	0.570	0.1240	0.0001240	0.035000	0.072300	0.0011000	0.002100
AC31	1,190.00	22.50	45.10	21.00	1.440	0.0290	0.0000010	0.047000	0.081000	0.0540000	0.010000
AC32	156.00	7.67	17.60	29.50	0.650	0.0005	0.0000010	0.031300	0.005700	0.0039000	0.000100
AC33	1,400.00	53.20	66.50	44.60	1.370	0.1030	0.0001030	0.067200	0.050600	0.0595000	0.009600
AC34	6,730.00	151.00	949.00	370.00	9.840	0.0300	0.0000010	0.020000	0.000100	0.3000000	0.000100
AC35	2,070.00	70.00	304.00	190.00	3.070	0.0001	0.0000010	0.100000	0.000100	0.1100000	0.000100
AC36	495.00	17.30	46.70	37.90	0.520	0.0005	0.0000010	0.044800	0.037800	0.0260000	0.001600
AC37	156.00	27.70	30.90	41.10	0.450	0.0287	0.0000010	0.023600	0.032100	0.0023000	0.001200
AC38	4,260.00	64.00	349.00	380.00	9.320	0.1600	0.0000010	0.060000	0.000100	0.1700000	0.000100
AC39	5,470.00	184.00	327.00	70.00	2.870	0.0100	0.0000010	0.080000	0.000100	0.3800000	0.000100
AC40	3,910.00	136.00	243.00	113.00	3.230	0.0100	0.0000010	0.097000	0.017000	0.3810000	0.016000
AC41	2,370.00	78.40	155.00	74.00	2.330	0.0100	0.0000010	0.087000	0.083000	0.3990000	0.012000
AC42	2,400.00	80.20	91.60	12.00	0.810	0.0040	0.2000000	0.057000	0.052000	0.2070000	0.014000
AC43	22,800.00	340.00	119.00	15.00	1.970	0.0200	0.0000010	0.080000	0.060000	1.6500000	0.070000
AC44	4,040.00	135.00	56.10	18.00	0.716	0.0100	0.2000000	0.085000	0.040000	0.3580000	0.032000
AC45	8,240.00	257.00	670.00	230.00	8.250	0.0100	0.0000010	0.070000	0.090000	0.6200000	0.000100
AC46	1,690.00	56.20	133.00	40.00	1.510	0.0120	0.0000010	0.057000	0.075000	0.1460000	0.015000
AC47	332.00	13.80	9.45	15.10	0.220	0.0002	0.0000010	0.049000	0.011000	0.0140000	0.065000
AC49	224.00	13.80	11.90	16.00	0.291	0.0010	0.0000010	0.054000	0.044000	0.0140000	0.002000
AC50	2,190.00	166.00	54.30	13.20	0.880	0.0066	0.0000066	0.060800	0.042100	0.3510000	0.019400
AC51	1,110.00	89.90	39.00	17.30	0.740	0.0149	0.0000149	0.040200	0.015600	0.1460000	0.008000

Muestra	Cd	Cr	Co	Sn	Zr	Al	Ti	V	Mo
AC1	0.000200	0.000100	0.0000810	0.0000100	0.0000800	0.0070	0.004400	80.000000	0.0021000
AC2	0.0000100	0.000100	0.0000060	0.0001000	0.0000300	0.0040	0.005200	70.000000	0.0003000
AC3	0.0005000	0.000100	0.0001000	0.0000100	0.0000010	0.0200	0.008000	0.030000	0.1980000
AC4	0.0000200	0.000100	0.0000050	0.0000100	0.0000200	0.0050	0.000900	0.000800	0.0033000
AC5	0.0000100	0.000800	0.0000050	0.0000100	0.0000100	0.0001	0.001400	0.000800	0.0003000
AC6	0.0000200	0.001200	0.0000050	0.0000100	0.0000100	0.0100	0.003700	0.014400	0.0048000
AC7	0.0000500	0.000100	0.0000050	0.0000100	0.0000100	0.0080	0.004700	0.007900	0.0178000
AC8	0.0000200	0.000100	0.0001130	0.0000100	0.0000600	0.0500	0.001600	0.001500	0.0035000
AC9	0.0000010	0.000100	0.0000220	0.0000100	0.0000100	0.0100	0.000100	0.000700	0.0015000
AC10	0.0000200	0.000100	0.0000650	0.0000100	0.0000400	0.0070	0.002900	0.010000	0.0032000
AC11	0.0000300	0.000100	0.0000330	0.0000100	0.0000010	0.0100	0.003700	0.021600	0.0054000
AC13	0.0001000	0.020000	0.0001400	0.0000100	0.0002000	0.0500	0.002000	0.012000	0.0230000
AC14	0.0000010	0.026000	0.0001400	0.0000100	0.0000010	0.0200	0.007000	0.075000	0.0010000
AC15	0.0000010	0.020000	0.0003100	0.0000100	0.0003000	0.1000	0.008000	0.110000	0.0100000
AC16	0.0000400	0.001300	0.0001680	0.0000100	0.0000700	0.0260	0.002800	0.009700	0.0005000
AC17	0.0000500	0.000500	0.0000860	0.0000100	0.0000900	0.0110	0.002400	0.042200	0.0019000
AC18	0.0000700	0.001000	0.0002190	0.0000100	0.0003400	0.1490	0.010400	0.060000	0.0027000
AC19	0.0000300	0.000100	0.0000980	0.0000100	0.0000500	0.0090	0.001900	0.003200	0.0005000
AC20	0.0000010	0.022000	0.0003600	0.0000100	0.0004000	0.0001	0.003000	0.026000	0.0420000
AC21	0.0000010	0.120000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.000100	0.080000	0.0001000
AC22	0.0001000	0.020000	0.0001000	0.0000100	0.0003000	0.0001	0.005000	0.433000	0.0110000
AC23	0.0000010	0.018000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.004000	0.026000	0.0180000
AC24	0.0000010	0.018000	0.0000010	0.0000100	0.0001000	0.0001	0.006000	0.462000	0.0350000
AC25	0.0002400	0.000800	0.0001040	0.0001000	0.0001900	0.0170	0.005300	0.400000	0.0853000
AC26	0.0004000	0.000500	0.0002130	0.0002000	0.0002100	0.0140	0.006700	0.210000	0.0236000
AC27	0.0001000	0.001000	0.0026300	0.0001000	0.0036600	0.0540	0.141000	0.007400	0.0009000
AC28	0.0001000	0.023000	0.0000010	0.0000100	0.0002000	0.0900	0.008000	0.006000	0.0150000
AC29	0.0000010	0.020000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.005000	0.089000	0.0290000
AC30	0.0000300	0.000100	0.0001030	0.0002000	0.0000500	0.0090	0.004300	0.006900	0.0022000
AC31	0.0000010	0.016000	0.0000700	0.0000100	0.0009000	0.0001	0.006000	0.388000	0.0480000
AC32	0.0000300	0.000100	0.0000200	0.0000100	0.0000200	0.0140	0.004200	0.032500	0.0106000
AC33	0.0002600	0.000100	0.0004280	0.0001000	0.0000800	0.0080	0.0048000	0.3200000	0.1030000
AC34	0.0000010	0.1300000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.0100000	0.1400000	0.0300000
AC35	0.0000010	0.1100000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.0200000	0.1500000	0.0001000
AC36	0.0000100	0.000100	0.0000870	0.0001000	0.0000400	0.0050	0.0050000	0.0262000	0.0012000
AC37	0.0000300	0.0006000	0.0002290	0.0000100	0.0000600	0.0070	0.0076000	0.0190000	0.0081000
AC38	0.0000010	0.1100000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.0100000	0.0400000	0.0300000
AC39	0.0000010	0.1000000	0.0000010	0.0000100	0.0020000	0.0001	0.0100000	0.0300000	0.0300000
AC40	0.0003000	0.0170000	0.0006700	0.0000100	0.0013000	0.0001	0.0050000	0.0230000	0.0970000
AC41	0.0005000	0.0220000	0.0006000	0.0000100	0.0005000	0.0600	0.0060000	0.0360000	0.1780000
AC42	0.0001000	0.0170000	0.0004900	0.0000100	0.0042000	0.1800	0.0110000	0.3340000	0.0890000
AC43	0.0000010	0.0800000	0.0000010	0.0000100	0.0060000	0.0001	0.0300000	0.0400000	0.0500000
AC44	0.0002000	0.0190000	0.0005700	0.0000100	0.0042000	0.1400	0.0130000	0.0520000	0.0520000
AC45	0.0000010	0.1100000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001	0.0200000	0.0400000	0.0100000
AC46	0.0002000	0.0210000	0.0003900	0.0000100	0.0003000	0.0800	0.0050000	0.0320000	0.0240000
AC47	0.0000400	0.0029000	0.0000330	0.0001000	0.0000500	0.1240	0.0042000	0.3400000	0.0186000
AC49	0.0000010	0.0250000	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0600	0.0060000	0.2640000	0.0150000
AC50	0.0004700	0.000100	0.0004000	0.0002000	0.0005700	0.0260	0.0033000	0.0279000	0.1830000
AC51	0.0001700	0.0001000	0.0003690	0.0001000	0.0008700	0.1410	0.0130000	0.0408000	0.0730000

Muestra	W	Sc	Ga	Ge	Se	Pd	Rb	Y	Sb
AC1	0.0000300	0.007000	0.0000010	0.0000700	0.00340	0.0001800	0.0120000	0.0000310	0.0001600
AC2	0.0000300	0.008000	0.0000100	0.0000800	0.01580	0.0001900	0.0155000	0.0000580	0.0001000
AC3	0.0000100	0.000100	0.0000010	0.0000300	0.09900	0.0016000	0.0435000	0.0001200	0.0002000
AC4	0.0000400	0.001000	0.0000300	0.0000300	0.00140	0.0000100	0.0028700	0.0000220	0.0001800
AC5	0.0000100	0.002000	0.0000010	0.0000600	0.00250	0.0000200	0.0036900	0.0001640	0.0001300
AC6	0.0002700	0.005000	0.0000010	0.0000900	0.00110	0.0000100	0.0055400	0.0000180	0.0001400
AC7	0.0010700	0.008000	0.0000900	0.0003700	0.00270	0.0000300	0.0258000	0.0000210	0.0001400
AC8	0.0000300	0.001000	0.0000400	0.0000400	0.00170	0.0000100	0.0033600	0.0000670	0.0001800
AC9	0.0000600	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00040	0.0000100	0.0023600	0.0000170	0.0001000
AC10	0.0000400	0.004000	0.0000010	0.0000800	0.00280	0.0000300	0.0034800	0.0000560	0.0000700
AC11	0.0003000	0.006000	0.0000010	0.0000800	0.00360	0.0000200	0.0063500	0.0000240	0.0000700
AC13	0.0000100	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0002000	0.0145000	0.0000400	0.0001000
AC14	0.0000100	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00300	0.0004000	0.0132000	0.0000100	0.0001000
AC15	0.0002000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00300	0.0005000	0.0240000	0.0000900	0.0002000
AC16	0.0000500	0.000100	0.0000600	0.0000200	0.00010	0.0000600	0.0251000	0.0001050	0.0000700
AC17	0.0000700	0.002000	0.0000400	0.0000500	0.00010	0.0002000	0.0265000	0.0000670	0.0001100
AC18	0.0003400	0.002000	0.0000600	0.0000300	0.00040	0.0000400	0.0308000	0.0001870	0.0002100
AC19	0.0000900	0.000100	0.0000100	0.0000010	0.00050	0.0000100	0.0086400	0.0000690	0.0000900
AC20	0.0004000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0007000	0.0279000	0.0000100	0.0008000
AC21	0.0000100	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0000100	0.0206000	0.0000100	0.0000100
AC22	0.0004000	0.000100	0.0001000	0.0000010	0.00010	0.0007000	0.0167000	0.0000100	0.0003000
AC23	0.0015000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0002000	0.0101000	0.0000100	0.0000100
AC24	0.0008000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00300	0.0003000	0.0084300	0.0000100	0.0002000
AC25	0.0005400	0.007000	0.0000200	0.0000700	0.00180	0.0002100	0.0092000	0.0000210	0.0004900
AC26	0.0043900	0.006000	0.0000300	0.0000400	0.00010	0.0005500	0.0093200	0.0000450	0.0005700
AC27	0.0000900	0.006000	0.0001400	0.0000500	0.00030	0.0000100	0.0681000	0.0002590	0.0001600
AC28	0.0000100	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0004000	0.0213000	0.0000800	0.0002000
AC29	0.0004000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00500	0.0002000	0.0052500	0.0000100	0.0001000
AC30	0.0000500	0.006000	0.0000010	0.0000400	0.00050	0.0000200	0.0030800	0.0000150	0.0000800
AC31	0.0021000	0.000100	0.0000010	0.0000010	0.00200	0.0003000	0.0077800	0.0000100	0.0000100
AC32	0.0002500	0.007000	0.0000100	0.0000600	0.00110	0.0000600	0.0028200	0.0000180	0.0001100
AC33	0.0008500	0.0080000	0.0000200	0.0001000	0.00360	0.0006200	0.0106000	0.0000210	0.0002100
AC34	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0020000	0.0472000	0.0000100	0.0000100
AC35	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0000100	0.0275000	0.0000100	0.0000100
AC36	0.0001900	0.0090000	0.0000010	0.0000400	0.00260	0.0001900	0.0062400	0.0000190	0.0001100
AC37	0.0001700	0.0060000	0.0000100	0.0000300	0.00120	0.0000400	0.0096100	0.0000150	0.0002200
AC38	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0010000	0.0266000	0.0000100	0.0000100
AC39	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0000100	0.0665000	0.0000100	0.0000100
AC40	0.0010000	0.0001000	0.0000010	0.0001000	0.00010	0.0010000	0.0503000	0.0001100	0.0011000
AC41	0.0017000	0.0001000	0.0000010	0.0001000	0.00010	0.0000100	0.0296000	0.0002800	0.0013000
AC42	0.0022000	0.0001000	0.0000010	0.0001000	0.00010	0.0007000	0.0198000	0.0001200	0.0009000
AC43	0.0060000	0.0001000	0.0010000	0.0000010	0.00010	0.0060000	0.0847000	0.0004000	0.0010000
AC44	0.0030000	0.0001000	0.0001000	0.0000010	0.00010	0.0019000	0.0343000	0.0006200	0.0009000
AC45	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0020000	0.0823000	0.0000100	0.0020000
AC46	0.0000100	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00010	0.0005000	0.0219000	0.0002400	0.0006000
AC47	0.0010300	0.0080000	0.0000500	0.0000900	0.00120	0.0001100	0.0053000	0.0000280	0.0002400
AC49	0.0009000	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.00200	0.0000100	0.0047100	0.0000100	0.0003000
AC50	0.0039400	0.0020000	0.0000400	0.0000800	0.00010	0.0005500	0.0280000	0.0002510	0.0007700
AC51	0.0015300	0.0030000	0.0000600	0.0000600	0.00010	0.0003200	0.0172000	0.0001950	0.0004800

Muestra	Cs	Hg	Tl	Pb	Th	U	Ce	Re
AC1	0.0000350	0.0000100	0.0000070	0.0002600	0.0000010	0.0146000	0.0000710	0.0000180
AC2	0.0000300	0.0000100	0.0000070	0.0001100	0.0000020	0.0166000	0.0000140	0.0000770
AC3	0.0001800	0.0000100	0.0000800	0.0002000	0.0000010	0.0458000	0.0000400	0.0005600
AC4	0.0000160	0.0000100	0.0000010	0.0001400	0.0000010	0.0020000	0.0000130	0.0000260
AC5	0.0000230	0.0000100	0.0000010	0.0000200	0.0000010	0.0129000	0.0000020	0.0000440
AC6	0.0000120	0.0002000	0.0000010	0.0003400	0.0000010	0.0027500	0.0000240	0.0000110
AC7	0.0001960	0.0000100	0.0000220	0.0001300	0.0000020	0.0051200	0.0000300	0.0000500
AC8	0.0000530	0.0000100	0.0000070	0.0001900	0.0000040	0.0028600	0.0001260	0.0000270
AC9	0.0000080	0.0000100	0.0000040	0.0000900	0.0000010	0.0009450	0.0000250	0.0000030
AC10	0.0000300	0.0000100	0.0000060	0.0002000	0.0000010	0.0317000	0.0000690	0.0000200
AC11	0.0000120	0.0000100	0.0000060	0.0000700	0.0000020	0.0047800	0.0000520	0.0000200
AC13	0.0000400	0.0000100	0.0000010	0.0005000	0.0000010	0.0073900	0.0001100	0.0000180
AC14	0.0000500	0.0000100	0.0000400	0.0013000	0.0000010	0.0179000	0.0000700	0.0000770
AC15	0.0000800	0.0000100	0.0000100	0.0007000	0.0000010	0.0323000	0.0003000	0.0005600
AC16	0.0000320	0.0005000	0.0000120	0.0018500	0.0000050	0.0012000	0.0001410	0.0000260
AC17	0.0000490	0.0006000	0.0000350	0.0022700	0.0000010	0.0038000	0.0000470	0.0000440
AC18	0.0000440	0.0004000	0.0000200	0.0069200	0.0000070	0.0014600	0.0003170	0.0000110
AC19	0.0000180	0.0003000	0.0000120	0.0008900	0.0000020	0.0000650	0.0000730	0.0000500
AC20	0.0000700	0.0000100	0.0000010	0.0002000	0.0000010	0.0161000	0.0000500	0.0000270
AC21	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0001000	0.0000010	0.0141000	0.0003000	0.0000030
AC22	0.0000600	0.0000100	0.0000200	0.0006000	0.0000010	0.0724000	0.0000300	0.0000200
AC23	0.0000500	0.0000100	0.0000010	0.0002000	0.0000010	0.0132000	0.0000400	0.0000200
AC24	0.0000300	0.0000100	0.0000200	0.0001000	0.0000010	0.0370000	0.0000300	0.0002900
AC25	0.0000270	0.0005000	0.0000100	0.0010100	0.0000040	0.0438000	0.0000250	0.0000900
AC26	0.0000320	0.0007000	0.0000230	0.0014000	0.0000030	0.0229000	0.0000400	0.0001200
AC27	0.0002960	0.0000100	0.0000050	0.0056500	0.0000150	0.0001180	0.0002160	0.0000150
AC28	0.0000500	0.0000100	0.0000010	0.0025000	0.0000010	0.0007000	0.0001900	0.0000550
AC29	0.0000300	0.0000100	0.0000010	0.0003000	0.0000010	0.0083100	0.0000300	0.0000050
AC30	0.0000190	0.0004000	0.0000020	0.0006000	0.0000010	0.0030000	0.0000270	0.0000020
AC31	0.0000400	0.0000100	0.0000010	0.0013000	0.0000010	0.1080000	0.0000500	0.0001400
AC32	0.0000110	0.0006000	0.0000020	0.0002400	0.0000010	0.0062300	0.0000300	0.0002000
AC33	0.0000360	0.0006000	0.0000370	0.0002400	0.0000020	0.0249000	0.0000220	0.0000800
AC34	0.0002000	0.0000100	0.0002000	0.0001000	0.0000010	0.0662000	0.0003000	0.0000100
AC35	0.0002000	0.0000100	0.0000010	0.0001000	0.0000010	0.0196000	0.0003000	0.0000400
AC36	0.0000160	0.0007000	0.0000130	0.0002400	0.0000010	0.0045500	0.0000120	0.0000420
AC37	0.0000310	0.0000100	0.0000190	0.0002600	0.0000010	0.0024900	0.0000180	0.0000470
AC38	0.0001000	0.0000100	0.0000010	0.0001000	0.0000010	0.0064000	0.0003000	0.0000020
AC39	0.0001000	0.0000100	0.0000010	0.0001000	0.0000010	0.0180000	0.0002000	0.0000300
AC40	0.0001200	0.0000100	0.0000010	0.0005000	0.0000010	0.0315000	0.0000500	0.0000800
AC41	0.0001100	0.0000100	0.0000010	0.0004000	0.0000010	0.0611000	0.0001700	0.0000050
AC42	0.0000600	0.0000100	0.0000010	0.0008000	0.0000200	0.0438000	0.0001900	0.0000800
AC43	0.0002000	0.0000100	0.0000010	0.0010000	0.0001000	0.0526000	0.0005000	0.0000230
AC44	0.0000900	0.0000100	0.0000010	0.0014000	0.0000900	0.0324000	0.0005100	0.0002140
AC45	0.0002000	0.0000100	0.0000010	0.0001000	0.0000010	0.0130000	0.0002000	0.0010000
AC46	0.0000500	0.0000100	0.0000010	0.0014000	0.0000100	0.0106000	0.0001400	0.0005000
AC47	0.0000280	0.0007000	0.0000030	0.0002800	0.0000010	0.0109000	0.0000120	0.0000610
AC49	0.0000300	0.0000100	0.0000010	0.0009000	0.0000010	0.0106000	0.0000600	0.0001000
AC50	0.0000780	0.0003000	0.0000060	0.0014400	0.0000210	0.0409000	0.0001710	0.0001000
AC51	0.0000600	0.0006000	0.0000030	0.0004500	0.0000380	0.0183000	0.0002640	0.0001700

Muestra	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er
AC1	0.0000620	0.0000070	0.0000240	0.0000030	0.0000030	0.0000040	0.0000030	0.0000020
AC2	0.0000180	0.0000030	0.0000120	0.0000020	0.0000090	0.0000050	0.0000040	0.0000030
AC3	0.0000500	0.0000100	0.0000500	0.0000200	0.0000010	0.0000100	0.0000100	0.0000010
AC4	0.0000130	0.0000020	0.0000100	0.0000030	0.0000010	0.0000020	0.0000030	0.0000010
AC5	0.0000270	0.0000040	0.0000240	0.0000050	0.0000030	0.0000090	0.0000100	0.0000060
AC6	0.0000160	0.0000040	0.0000120	0.0000020	0.0000010	0.0000030	0.0000020	0.0000010
AC7	0.0000230	0.0000050	0.0000140	0.0000050	0.0000020	0.0000030	0.0000020	0.0000010
AC8	0.0000610	0.0000160	0.0000700	0.0000160	0.0000050	0.0000150	0.0000100	0.0000060
AC9	0.0000150	0.0000030	0.0000130	0.0000010	0.0000020	0.0000020	0.0000020	0.0000020
AC10	0.0000480	0.0000070	0.0000300	0.0000050	0.0000050	0.0000060	0.0000070	0.0000050
AC11	0.0000280	0.0000060	0.0000220	0.0000060	0.0000070	0.0000050	0.0000030	0.0000020
AC13	0.0000600	0.0000200	0.0000010	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000100
AC14	0.0000600	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC15	0.0001400	0.0000300	0.0001000	0.0000400	0.0000010	0.0000300	0.0000200	0.0000200
AC16	0.0000820	0.0000240	0.0000950	0.0000250	0.0000040	0.0000250	0.0000180	0.0000110
AC17	0.0000410	0.0000100	0.0000440	0.0000130	0.0000020	0.0000130	0.0000090	0.0000070
AC18	0.0001570	0.0000430	0.0001810	0.0000460	0.0000090	0.0000450	0.0000290	0.0000190
AC19	0.0000480	0.0000140	0.0000590	0.0000160	0.0000020	0.0000140	0.0000140	0.0000080
AC20	0.0000400	0.0000010	0.0000010	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC21	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC22	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC23	0.0000300	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC24	0.0000200	0.0000010	0.0000400	0.0000100	0.0000010	0.0000010	0.0000200	0.0000010
AC25	0.0000140	0.0000040	0.0000090	0.0000060	0.0000010	0.0000030	0.0000030	0.0000020
AC26	0.0000240	0.0000060	0.0000350	0.0000110	0.0000010	0.0000060	0.0000060	0.0000050
AC27	0.0001400	0.0000420	0.0001890	0.0000530	0.0000120	0.0000460	0.0000460	0.0000270
AC28	0.0001000	0.0000200	0.0001300	0.0000300	0.0000010	0.0000300	0.0000200	0.0000100
AC29	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC30	0.0000170	0.0000040	0.0000120	0.0000020	0.0000010	0.0000040	0.0000030	0.0000020
AC31	0.0000200	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC32	0.0000200	0.0000050	0.0000180	0.0000050	0.0000010	0.0000060	0.0000030	0.0000020
AC33	0.0000200	0.0000040	0.0000190	0.0000030	0.0000010	0.0000030	0.0000030	0.0000020
AC34	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC35	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC36	0.0000130	0.0000020	0.0000170	0.0000030	0.0000010	0.0000020	0.0000030	0.0000020
AC37	0.0000100	0.0000020	0.0000100	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000020	0.0000020
AC38	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC39	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC40	0.0000300	0.0000010	0.0000400	0.0000400	0.0000010	0.0000010	0.0000200	0.0000200
AC41	0.0000900	0.0000200	0.0001000	0.0000300	0.0000010	0.0000300	0.0000300	0.0000100
AC42	0.0001300	0.0000300	0.0001100	0.0000400	0.0000010	0.0000300	0.0000200	0.0000200
AC43	0.0001000	0.0000010	0.0000010	0.0003000	0.0000010	0.0000010	0.0001000	0.0000010
AC44	0.0002100	0.0000600	0.0002900	0.0000800	0.0000010	0.0000600	0.0000800	0.0000700
AC45	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC46	0.0000900	0.0000300	0.0001200	0.0000200	0.0000010	0.0000400	0.0000300	0.0000200
AC47	0.0000090	0.0000020	0.0000150	0.0000060	0.0000010	0.0000010	0.0000030	0.0000020
AC49	0.0000300	0.0000010	0.0000010	0.0000100	0.0000010	0.0000010	0.0000010	0.0000010
AC50	0.0000900	0.0000240	0.0000980	0.0000330	0.0000050	0.0000240	0.0000320	0.0000250
AC51	0.0001310	0.0000330	0.0001420	0.0000330	0.0000060	0.0000290	0.0000260	0.0000190