



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS
PARA
LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN - REGION RIO BRAVO -

PRESENTADA POR:

ING. JUAN PABLO DEL CONDE GUADALAJARA

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)

DIRIGIDA POR:

DR. ANTONIO ACOSTA GODINEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PRIMOS, JOSÉ FERNANDO† Y RODRIGO†

AGRADECIMIENTOS

En primer término, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a sus honorables maestros, que nos enseñan a ser hombres de bien y a procurar felicidad a la vida.

A mis compañeros de la maestría, muchos de ellos vienen desde lejos para dar esperanza a la sociedad y a sus familias.

Fue indispensable el apoyo del Doctor Antonio Acosta Godínez, que funge como director de este trabajo, además de ser un gran tutor, mi amigo y promotor de un sacrificio constante en beneficio común.

Al Doctor Carlos Escalante Sandoval, por su lucha personal por conservar a la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería como una institución de excelencia, en la cual nos encomienda retos dignos de admirarse y cada semestre nos orienta para dar nuestro mejor esfuerzo. Al Doctor Gabriel Echávez Aldape, por su amistad que nos muestra que la imaginación ante la perfección y las maravillas de la naturaleza, se inunda con genialidad. A los Doctores Gilberto Sotelo Ávila y Victor Franco, que nos forjan por medio de la disciplina y el respeto. Al Maestro en Ingeniería Oscar Vega Roldán, por las hermosas excursiones llenas de hermandad. Al Doctor Ramón Domínguez Mora, por dedicar su valioso tiempo al escrutinio de la tesis y darme sus lógicos y atinados consejos teñidos de su excesivo sentido común. Igualmente aprecio al Dr. Rolando Springall Galindo, por su amor a la cátedra.

La información que se presenta en la tesis, es el resultado del tiempo de vida que cientos de personas han dedicado a estudiar los fenómenos físicos y sociales de la zona de estudio. Es inevitable la humildad con la que sus nombres se ocultan en el anonimato y constatan aquella sentencia del Maestro: "Aquel que entre ustedes parece el más pequeño, el más insignificante, ese es el más grande". En este sentido, el fruto de su esfuerzo no habría estado a mi alcance sin el apoyo de los Ingenieros Abelardo Amaya Enderle, Juan Emilio García Cárdenas y reiteradamente, del Doctor Antonio Acosta Godínez, así como del personal a su cargo, en la Comisión Nacional del Agua.

Igualmente agradezco, a los Ingenieros Héctor Bolívar Villagómez y Noel Hernández Laloith, por haberme facilitado información básica de la Región Río Bravo.

Agradezco también a la empresa Desarrollo y Sistemas, S. A., que facilitó el proceso de edición de la tesis. Fue también de gran utilidad la asesoría y amistad de Jaime Castellanos y de Oscar Calderón, que me enseñaron matemáticas y sencillez, respectivamente.

A mi madre, quien mantuvo mi necesidad de terminar de la mejor manera la tesis durante todo momento. A mi padre, por el ejemplo que me da, como persona e ingeniero. A mis hermanos, Tavo, Claudio, Ana Gabriela y Santiago, siempre aquí, incondicionalmente.

A mi familia completa y a la de mi esposa, que toda me enorgullece, todos son mi ejemplo y a cada uno siempre he querido dar un regalo, para que sepan que viven dentro de mí.

Con alma y corazón agradezco a mi esposa Montserrat, por darme amor, ilusión, esperanza y fuerza.

A Max, por despertarme temprano.

*PROPUESTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS PARA LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN –
REGION RIO BRAVO –*

INDICE GENERAL

<i>Introducción</i>	1
<i>1. Objetivos</i>	2
<i>2. Metodología</i>	3
<i>3. Descripción del área de Estudio</i>	15
<i>4. Evaluación de alternativas para el aprovechamiento hidráulico en la Cuenca del Río San Juan</i>	73
<i>5. Escenarios y Propuesta de Aprovechamientos Hidráulicos para la Cuenca del Río San Juan</i>	110
<i>Conclusiones</i>	123
<i>Bibliografía</i>	125
<i>Anexo A. Análisis Hidrológico</i>	127
<i>Anexo B. Modelo Matemático de Simulación Hidrológica</i>	132
<i>Anexo C. Síntesis de la Normatividad y de los Estudios Previos</i>	161
<i>Anexo D. Evaluación del Costo de las Alternativas</i>	179
<i>Anexo E. Descripción de Archivos Magnéticos Generados</i>	197
<i>Anexo F. Fotografías</i>	199

RESUMEN

Esta tesis fue realizada para reducir la competencia por el agua en la Cuenca del Río San Juan - Región Río Bravo-, donde se encuentran las Ciudades de Monterrey, N. L. y Saltillo, Coah., así como diversas localidades que se dedican a la agricultura. Los procedimientos y resultados se fundamentan en un análisis de aspectos naturales y sociales.

ABSTRACT

This thesis was done to reduce the competence for water in the San Juan River Basin – at the Rio Grande Basin -, including Monterrey and Saltillo cities, as many other small localities that live from agriculture. Procedures and results, are supported by a natural and social analysis.

INTRODUCCIÓN

Parte de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, se encuentran en la Cuenca del río San Juan (CRSJ). Su clima es seco la mayor parte del tiempo, pero la incidencia de ciclones provenientes del Golfo de México, genera tormentas en la planicie costera y en la Sierra Madre Oriental. Las sequías han producido la muerte de cientos de habitantes, así como notables pérdidas físicas y económicas en el sector agropecuario.

Figura 1. Localización de la Cuenca del río San Juan



Debido al crecimiento acelerado de las zonas metropolitanas de Monterrey, N.L. (ZMM) y Saltillo, Coah., durante el período de 1940 a 1999, la demanda de agua potable se incremento casi quince veces. A finales de 1999 la población resultaba de casi 4.3 millones de habitantes, de los cuales, el 70% residían en la Ciudad de Monterrey y el 20% en Saltillo. La demanda de agua para uso público - urbano, representaba ya, cerca del 30% de la demanda total.

La insuficiencia de agua en la ZMM ha obligado a sus habitantes a aprovechar fuentes cada vez más distantes, con transferencias de hasta 150 km de distancia. El creciente interés de la ZMM por acaparar el agua de los ríos San Juan, Pesquería, Ayancual y San Fernando, reduce la disponibilidad de éste líquido en las zonas agrícolas ubicadas en dichas corrientes.

En la Ciudad de Saltillo el abastecimiento depende del agua subterránea. Sus acuíferos se encuentran sobreexplotados, aprovechados principalmente con fines de riego y es incierta la futura solución de las deficiencias de agua.

Ante estas circunstancias, la tesis analiza el aprovechamiento del agua en la CRSJ y propone acciones para confrontar sus retos y oportunidades en el futuro.

I. OBJETIVOS

El objetivo principal de la tesis es establecer una propuesta de aprovechamiento hidráulico para la Cuenca del Río San Juan, que contribuya a la solución de los problemas originados por la escasez del agua.

Para obtener los resultados esperados, se propuso el cumplimiento de los siguientes objetivos secundarios:

1. Describir las características físicas y sociales, que determinan la disponibilidad y el déficit de agua en la zona de estudio.
2. Determinar cuáles son las acciones y las alternativas para el futuro aprovechamiento hidráulico.
3. Identificar alternativas para el mejoramiento de la situación actual y establecer estrategias para su desarrollo.

INDICE TEMATICO

I. Objetivos _____ **2**

CAPITULO II. METODOLOGIA

INDICE TEMATICO

II.	Metodología	3
II. 1.	Recopilación y análisis de información y de estudios previos	3
II. 2.	Análisis de la situación actual	4
II. 3.	Identificación de alternativas para el aprovechamiento hidráulico	11
II. 4.	Definición de criterios de evaluación de alternativas	12
II. 5.	Escenarios y Propuesta de aprovechamientos hidráulicos en la Cuenca del Río San Juan	13

INDICE DE FIGURAS

Figura II. 1.	Diagrama metodológico general	3
Figura II. 2.	Porcentaje de estaciones con registro pluviométrico mensual, período 1939 – 1998	6
Figura II. 3.	Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río San Juan	6
Figura II. 4.	Distribución porcentual de la demanda anual para el DR026 y la ZMM	8
Figura II. 5.	Diagrama general simplificado de análisis hidrológico	9
Figura II. 6.	Discretización del área de la Cuenca del Río San Juan, para su modelación hidrológica	10
Figura II. 7.	Nodos de modelación ubicados fuera de la Cuenca del Río San Juan	10
Figura II. 8.	Procedimiento para llevar a término la evaluación y comparación de alternativas	12
Figura II. 9.	Simbología de figuras cartográficas del documento	14

INDICE DE CUADROS

Cuadro II. 1.	Descripción de la recopilación y el análisis de información y estudios previos	4
Cuadro II. 2.	Relación de estaciones climatológicas analizadas	5
Cuadro II. 3.	Relación de estaciones hidrométricas analizadas	5
Cuadro II. 4.	Distribución tributaria de estaciones meteorológicas por método de Thiessen	7
Cuadro II. 5.	Fuentes de información descriptivas los tres principales usos del agua	8
Cuadro II. 6.	Suposiciones generales	11
Cuadro II. 7.	Ejemplo de correspondencia entre dos tipos de acción y tres ámbitos de desarrollo	13

II. METODOLOGÍA

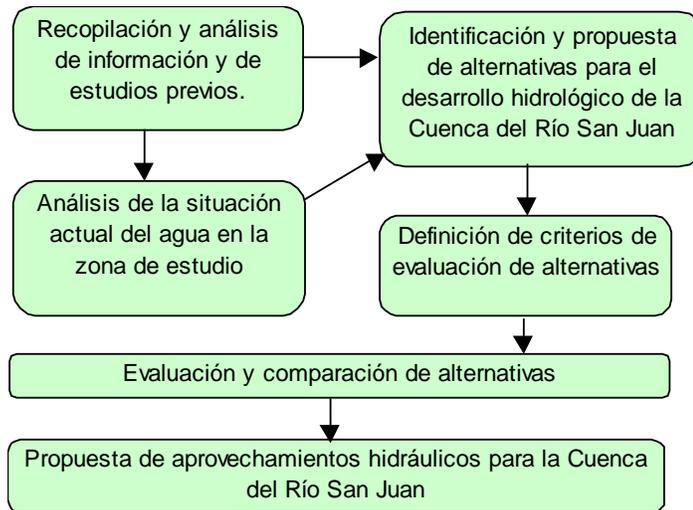
En este apartado se describen las hipótesis fundamentales y la secuencia del análisis realizado.

Para cumplir con los objetivos de la tesis, las actividades se fundamentaron en las siguientes hipótesis, aplicables para la zona de estudio:

- Los registros hidrológicos y del uso del agua, reflejan las causas de las deficiencias, sus consecuencias y su tendencia.
- Existe un conjunto de acciones para resolver en forma óptima el problema de la insuficiencia de agua.
- Los aspectos sociales, legales, políticos y ambientales, pueden describirse en forma cualitativa, para calificarlos subjetivamente.
- La modelación y la calificación subjetiva del efecto de las alternativas de aprovechamiento hidráulico, permiten identificar las acciones óptimas.
- Las acciones óptimas conforman una propuesta de aprovechamientos hidráulicos.

A continuación se muestra un diagrama metodológico general, con las principales actividades realizadas.

Figura II. 1. Diagrama metodológico general



II. 1. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y DE ESTUDIOS PREVIOS

La recopilación de información, consistió en una búsqueda en bibliotecas y diversos bancos de consulta, que incluyó la asesoría de especialistas de instituciones relacionadas con el tema de estudio.

En el siguiente cuadro se describe un resumen del origen de la información y de los métodos aplicados para su análisis.

Cuadro II. 1. Descripción de la recopilación y el análisis de información y estudios previos

Tema	Fte. de información	Documento	Resultados	Métodos auxiliares
Análisis del área de estudio				
Fisiografía	Gerencia Regional Río Bravo	Cartografía del INEGI	Alternativas de abastecimiento	
Geología				
Actividad productiva	Bibliografía	Atlas de la República Mexicana, Nuevo León. Dcto. de Sría de Turismo		
Flora y Fauna				
Población		Estudios previos	Proyección demográfica	Ajuste de curvas
Hidrología				
Hidrografía	GASIR	Boletín hidrológico No. 24	Descripción general	Análisis de superficies y distancias
Acuíferos	GAS, IMTA, Servicio Meteorológico Mexicano	Base de datos de acuíferos y estudio preliminar	Condición de disponibilidad	
Climatología		CLI - COM, ERIC		
Escurrimiento		BANDAS, CD - HIDROS		
Balance hidráulico	Gerencia Regional Río Bravo	Balance Hidráulico y Políticas de Operación del Sistema Regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan		Polígonos de Thiessen Generación de escurrimientos vírgenes con restitución de usos y retornos y correlación lluvia - Esc.
Aspectos sociales				
Marco legal	Gerencia Regional. GASIR	Acuerdos y reglamentos para aprovechamiento del agua en la CRSJ y Ley de Aguas Nacionales	Derechos y compromisos del agua disponible	Evaluación del impacto no conmensurable de las acciones sobre estos ámbitos
Marco político		Memorias de situación social, revistas, periódicos y noticieros	Influencia política en la planeación hidráulica	
Marco económico		Estudios previos	Costo de las alternativas	Análisis preliminar de costos de acciones no evaluadas en estudios previos
Problemática		Memorias de situación social, revistas, periódicos y noticieros	Propuesta de alternativas	
Usos del agua				
Infraestructura	Gerencia Regional. GASIR	Estudios previos	Influencia sobre el sistema hidrológico Modificación de la calidad y de la cantidad de agua	Proyección de la demanda los distintos usuarios ante diferentes escenarios de reuso
Agrícola				
Industrial				
Público				
Urbano				
Reuso				
Alternativas de abastecimiento	Gerencia Regional, GASIR	Estudio del aprovechamiento de la cuenca del río Soto La Marina, para abastecimiento de agua a Monterrey, N. L. Estudio de Fuentes de Abastecimiento, Monterrey	Influencia hidrológica y costo de las alternativas de abastecimiento	Código de simulación hidrológica - económica y matrices de impactos intangibles
Efectos de la transferencia interregional de agua	Biblioteca DEPEFI	Biswas. Transf. Interr. De Agua.	Impacto de los proyectos de transferencia interregional de agua	
Déficits - sequías	Archivo DESISA	Crónica de sequías en la República Mexicana	Impacto de las sequías en el área de estudio	

Una vez analizada e interpretada la información, se obtuvo una perspectiva de la situación general del agua en la zona de estudio.

II. 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El análisis de la situación actual consistió en la conceptualización del fenómeno hidrológico y de su relación con el ser humano en la zona de estudio.

El análisis hidrológico involucró principalmente un estudio de la relación entre la lluvia y el escurrimiento. Se analizaron los registros pluviométricos e hidrométricos mensuales de todas las estaciones meteorológicas de la zona de estudio y se seleccionaron únicamente aquellas que se consideraron representativas por su ubicación y por la calidad de su registro.

Fue también de gran importancia, la consulta de estudios previos relativos a disponibilidad de agua subterránea en la región; para este fin se consultó una sinopsis de los acuíferos en el estado de Nuevo León, así como otra información no definitiva, calculada por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Se consideró que la oferta de agua superficial se encuentra en función del escurrimiento “virgen” de cada cuenca, que es el que escurriría si no existiera ningún aprovechamiento.

Una vez calculado el escurrimiento virgen, se generaron muestras *sintéticas*, obtenidas mediante métodos autorregresivos de tipo AR(1) y PAR(1).

El *Anexo A* muestra los valores calculados correspondientes a la interpretación inicial de los registros, así como la teoría considerada para el cálculo de registros sintéticos, y las muestras generadas.

Se calcularon los escurrimientos “vírgenes” pasados para distintas áreas de captación mediante dos técnicas: la primera, fue la propuesta de modelos que relacionan la lluvia con el escurrimiento, con funciones de correlación y polígonos de Thiessen; la segunda, en áreas geográficas que facilitaban el cálculo, debido a que contaban con extensos y consistentes registros de escurrimiento y extracciones.

Cuadro II. 2. Relación de estaciones climatológicas analizadas

Clave	Nombre	Período	Clave	Nombre	Período
Alto San Juan, hasta el Cuchillo			Cuenca del San Juan, sin área del Cuchillo		
19048	Montemorelos	1940-1998	5016	General Cepeda	1941-1985
19047	Galeana	1942-1998	19016	China	1939-1997
19073	San Antonio las Alazanas	1955-1978	sin clave	Cuesta de los Fierros	1940-1989
5035	Casillas	1956-1996	19045	Mina	1955-1989
19069	La Boca - antes Cerrito -	1940-1998	19012	Ciénega de Flores	1940-1997
19019	El Realito	1962-1998	19048	Los Ramones	1940-1996
19039	Las Enramadas	1975-1998	19041	Los Herreras	1942-1995
19035	Laquna de Sánchez	1942-1996	Fuera del San Juan		
19041	Campo Terán	1943-1998	28055	Tomates, Altamira	1969-1980
19033	San Juan	1944-1997	28050	Sonadora, Tamaulipas	1961-1989
19031	Santa Catarina	1940-1998			
19029	El Cuchillo	1940-1998			
19023	Las Comitas	1940-1994			

Cuadro II. 3. Relación de estaciones hidrométricas analizadas

Estación hidrométrica	Corriente	Período	Estación	Corriente	Período
Cuenca del Río San Juan			Cuencas de la Región Golfo Norte		
Los Aldamas	San Juan	1967 - 1997	San Fernando	San Fernando	1930 - 1985
Tepehuaje	San Juan	1957 - 1997	Pánuco	Pánuco	1972 - 1991
La Boca	San Juan	1955 - 1998	La Sonadora I y II	Soto La Marina	1959 - 1985
China	San Juan	1928 - 1997	Cerro Prieto	Pabillo	1964 - 1982
Los Herreras	San Juan	1942 - 1997	Cuencas de la Región Río Bravo, sin San Juan		
Entradas a M. R. Gómez	San Juan	1924 - 1996	Los Mier	Alamo	1955 - 1991
Camargo	San Juan	1954 - 1991	Sabinas	Sabinas	1937 - 1988
Montemorelos	Pilón	1943 - 1997	Anzalduas	Bravo	1954 - 1991
La Arena	Pesquería	1962 - 1992	Nuevo Laredo	Bravo	1954 - 1989
Cadereyta	Sta. Catarina	1963 - 1994	Entradas Falcón	Bravo	1951 - 1996

La información hidrológica presenta registros que datan desde 1924

Figura II. 2. Porcentaje de estaciones con registro pluviométrico mensual, período 1939 – 1998

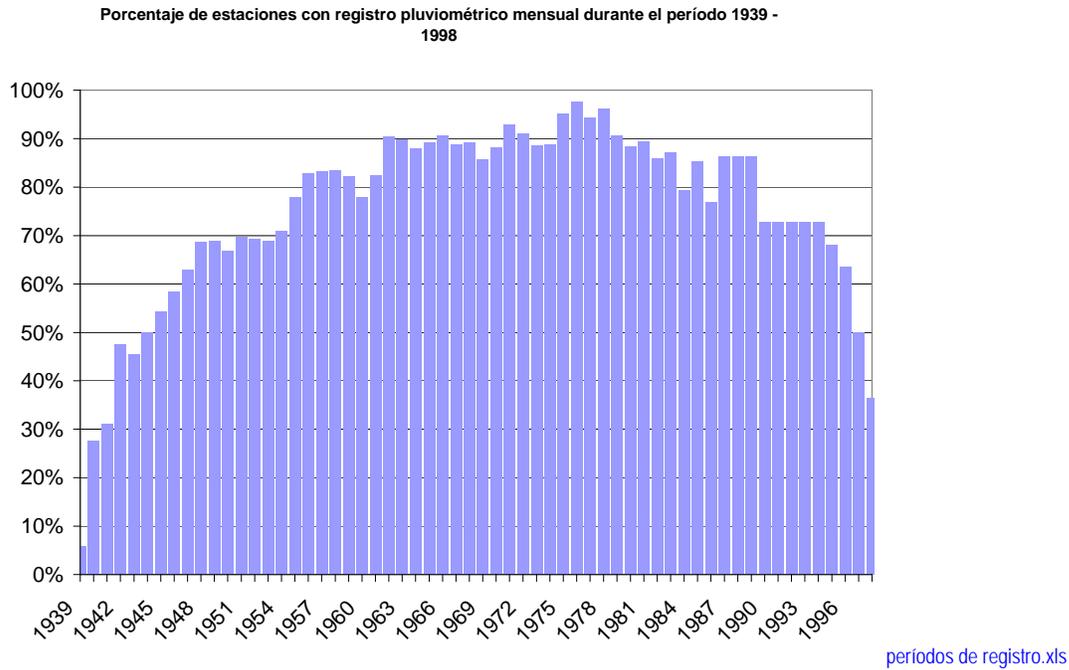
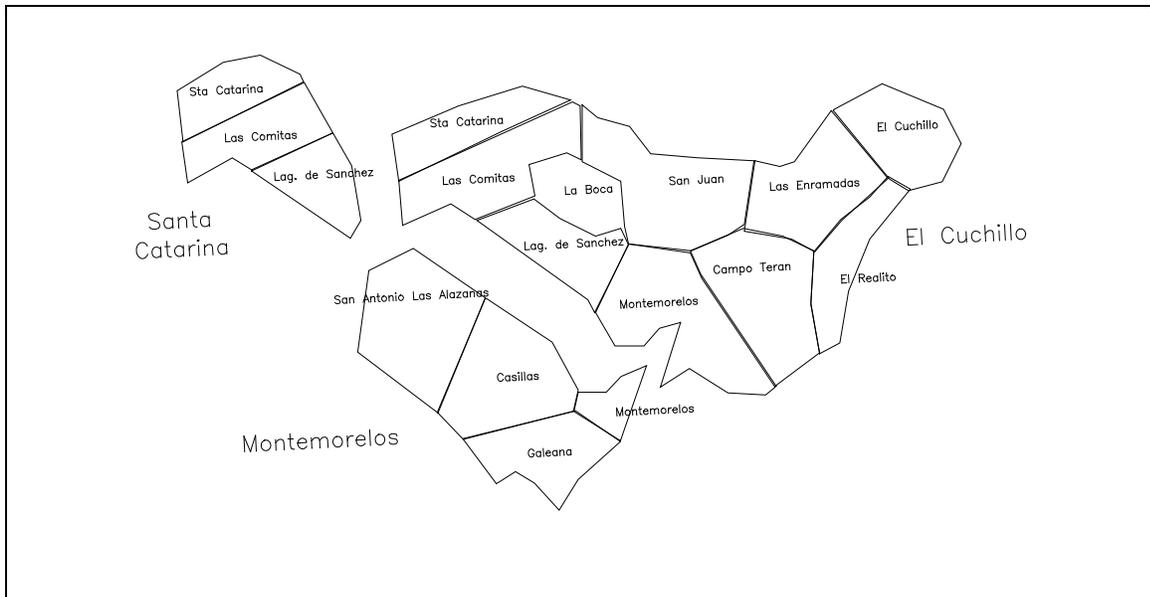


Figura II. 3. Polígonos de Thiessen en la Cuenca del Río San Juan



Los cuadros II. 2 y II. 3, presentan la lista de estaciones pluviométricas e hidrométricas estudiadas para el análisis, mientras que la figura II. 2, muestra en forma general, el porcentaje de estaciones con registros pluviométricos, desde 1939 hasta 1998. La figura II. 3 y el Cuadro II. 4, presentan un resumen de la aplicación del método de polígonos de Thiessen en distintas áreas de la Cuenca del Río San Juan; mismos que se presentan con mayor detalle en archivos magnéticos anexos.

Cuadro II. 4. Distribución tributaria de estaciones meteorológicas por método de Thiessen

	Zona	El Realito	Las Enramadas	Laguna de Sanchez	Campo Terán	San Juan	Santa Catarina	Montemorelos	El Cuchillo	Las Comitas	Casillas	Galeana	San Antonio de las Alazanas	La Boca	Total
21	D5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	41%	17%	36%	0%	100%
6-21-4	D6	0%	9%	0%	47%	0%	0%	44%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	D4	0%	40%	0%	0%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	D3	0%	0%	23%	0%	42%	0%	35%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	D1	0%	0%	39%	0%	10%	16%	0%	0%	28%	0%	0%	0%	7%	100%
4	D2	0%	0%	17%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	58%	100%
6-21-4-5	D7	25%	25%	0%	11%	0%	0%	8%	32%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
D	D11=	0%	0%	52%	0%	0%	16%	0%	0%	29%	0%	0%	0%	3%	100%
	D12	0%	0%	0%	0%	37%	16%	0%	0%	28%	0%	0%	0%	19%	100%
6		0%	4%	15%	8%	12%	5%	13%	0%	9%	13%	5%	11%	5%	100%
9-21		4%	8%	13%	8%	10%	4%	12%	6%	8%	11%	4%	9%	4%	100%

PrecipASJ.xls

	Zona	General Cepeda	China	Cuesta de los Fierros	Mina	Ciénega de Flores	Los Ramones	Los Herreras
11	F	65%	0%	34%	1%	0%	0%	0%
	A1	0%	0%	46%	6%	23%	24%	0%
	E	0%	0%	22%	45%	34%	0%	0%
	A2	0%	0%	0%	0%	37%	63%	0%
12	A3	0%	0%	0%	0%	0%	22%	78%
	B	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
13	C	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	A11	0%	0%	73%	10%	17%	0%	0%
	A12	0%	0%	0%	0%	35%	65%	0%

PrecipBSJ.xls

La hidrología se analizó con información mensual, ya que el análisis anual en esta zona árida, no refleja el efecto del clima extremoso, que en los meses de estiaje produce los mayores estragos.

La constante aridez, impide que los valores promedio mensuales e inclusive anuales, sean representativos de la situación del agua, ya que no refleja el efecto de las sequías ni en general, de la escasez que producen los frecuentes años secos.

Se efectuó un análisis estadístico, tanto para los registros de precipitación pluvial, como para los escurrimientos, mismo que permitió completar registros faltantes y estudiar sus propiedades estadísticas.

Además de las características naturales del fenómeno hidrológico, también se estudiaron las características de la demanda. Se consideraron principalmente las siguientes referencias, según el tipo de uso:

Cuadro II. 5. Fuentes de información descriptivas los tres principales usos del agua

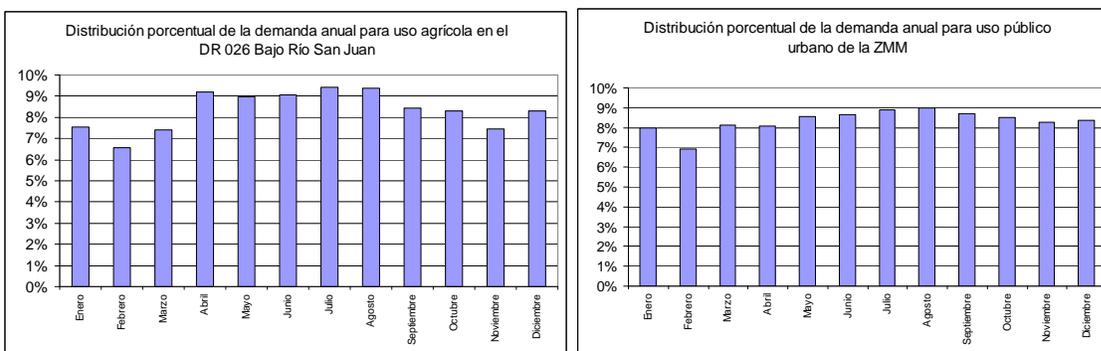
Uso	Fuentes de información
Público - urbano	Proyecciones demográficas municipales establecidas por CONAPO, en 1995.
Industrial	Bases de datos de acuíferos – Gerencia de Aguas Subterráneas, CNA.
Agrícola	Resumen anual de características de los Distritos de Riego en 1990. Bases de Datos de los Distritos de Riego
Todos los anteriores	CNA, GASIR, Balance Hidráulico calculado para el año de 1998. Balance hidrológico de las Cuenca de los Ríos Bravo y San Juan y estudios relacionadas con fuentes de abastecimiento para la ZMM (todos realizados por la CNA). CNA, Gerencia Regional Río Bravo, Lineamientos Estratégicos para la Región VI.

La fuente de información que describió en forma más útil, las demandas de agua en la cuenca, fueron los cálculos realizados a principios de 1998 por la GASIR (Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos).

Las demandas históricas y futuras para fines públicos y urbanos se corroboraron y complementaron con las proyecciones demográficas calculadas por el CONAPO (Consejo Nacional de la Población) y con la dotación estimada.

En zonas agrícolas o en cuencas no urbanas, se propuso una curva de demanda mensual promedio, proporcional a la calculada para el Distrito de riego 026, Bajo San Juan; para complementar registros faltantes.

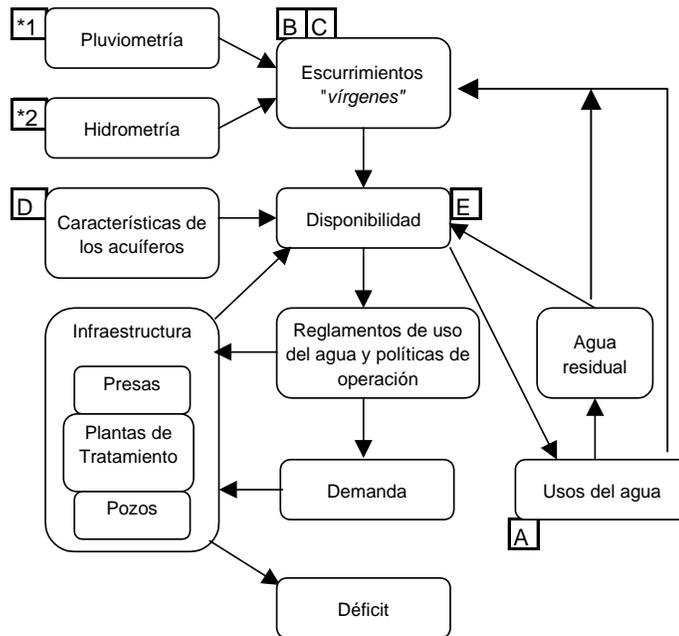
Figura II. 4. Distribución porcentual de la demanda anual para el DR026 y la ZMM



Toda la información hidrológica se procesó y sintetizó en un modelo de simulación, que analiza el balance de la Cuenca del Río San Juan y de las cuencas vecinas. Para confirmar la aplicabilidad del modelo, se modelaron las condiciones pasadas (1928 – 1996), con lo que se logró una reproducción aproximada de las condiciones históricas de disponibilidad para fundamentar el análisis futuro. Con los resultados del modelo, se realizó una interpretación cualitativa del efecto de las acciones en el marco social, económico, político y legal.

A continuación, la Figura II. 5, presenta un diagrama simplificado con los elementos que en general se consideraron para el análisis hidrológico. Estos, a su vez se estudiaron en forma minuciosa, con lo cual se integraron a un modelo de simulación matemática.

Figura II. 5. Diagrama general simplificado de análisis hidrológico



Notas:

*1. Se complementaron registros mensuales de algunas estaciones.

*2. Se completaron registros hidrométricos faltantes, especialmente en cuencas vecinas a CRSJ.

- A. Se tomaron algunos datos de distritos de riego y de la ZMM, con punto de partida en el balance obtenido de la GASIR.
- B. Se calcularon sólo en la CRSJ, mientras que fuera, se usó hidrometría.
- C. Se calculó como la suma del escurrimiento registrado + usos consuntivos – retornos, para cada una de las catorce subcuencas.
- D. Exclusivamente se consideró el rendimiento en m³/s y se les confirió una capacidad de almacenamiento y de recarga indefinida.
- E. Calculada con base en un balance hidráulico.

Todos los elementos descritos en el diagrama anterior, inciden en el efecto de las acciones para el manejo del recurso hidráulico, de modo que el modelo hidrológico de simulación los consideró en forma directa e indirecta.

A continuación, las figuras II. 6 y II. 7, presentan una discretización espacial del área geográfica de estudio, con el propósito de su análisis hidrológico.

Figura II. 6. Discretización del área de la Cuenca del Río San Juan, para su modelación hidrológica

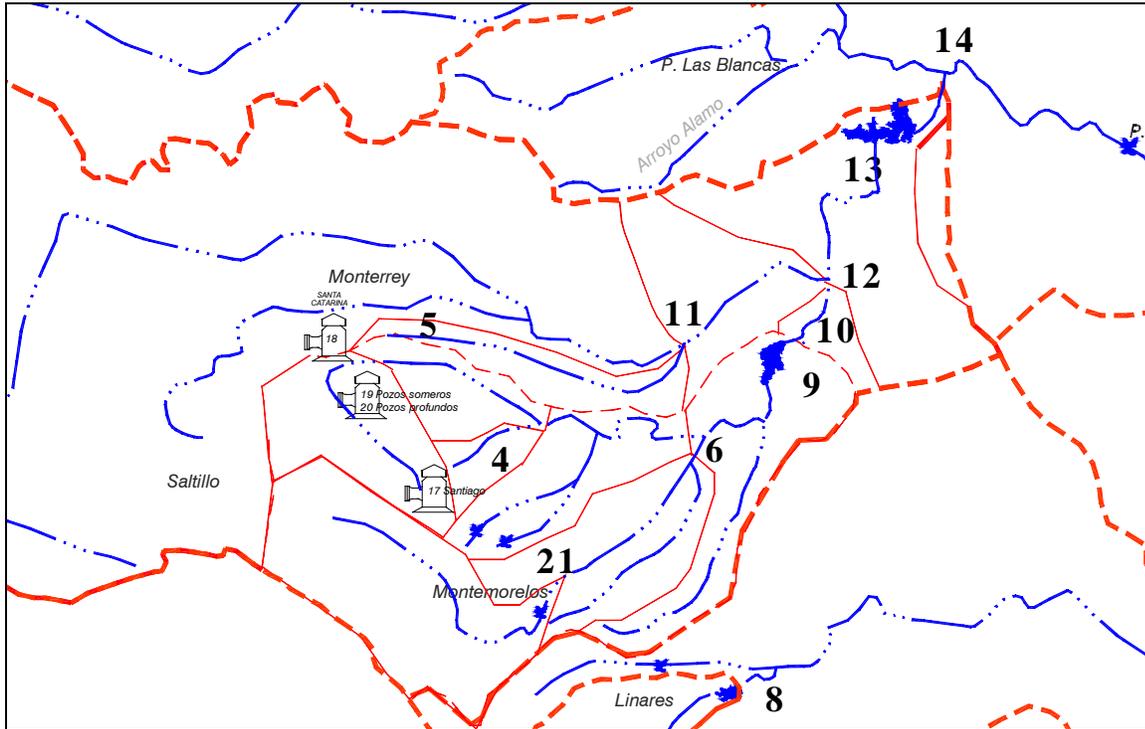
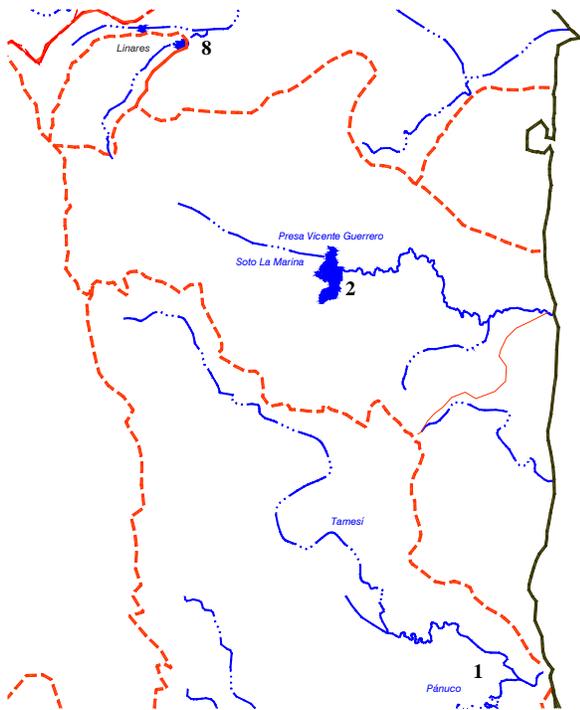


Figura II. 7. Nodos de modelación ubicados fuera de la Cuenca del Río San Juan

En el *Anexo B* se describe el funcionamiento del modelo, que en general se fundamenta en los criterios descritos en el diagrama de la figura II. 4.

La carencia de registros meteorológicos, extracciones, descargas y reuso del agua detallados para cada una de las 14 subcuencas en que se discretiza el área de la CRSJ, dificultan el cálculo del escurrimiento “virgen” en cada una de éstas y restringen la generación de sus registros sintéticos, que a su vez, facilitarían el análisis del efecto de las sequías en el futuro.



II. 3. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO

Después del análisis de la situación actual, se analizaron los costos económicos de las alternativas; la memoria de este análisis se presenta en el *Anexo D*.

Una vez analizados los estudios previos, la situación actual y el marco físico y social de la zona de estudio, se identificaron y propusieron acciones para mitigar los impactos de la escasez del agua.

El conocimiento de los antecedentes legales, políticos, sociales e hidrológicos, determinó su importancia actual y futura sobre las acciones. Se identificaron restricciones y se sentaron las bases necesarias para una calificación subjetiva de los efectos de las acciones en distintos escenarios futuros. El *Anexo C* presenta una síntesis de los antecedentes legales identificados.

Debido a la gran cantidad de información necesaria para llevar a cabo los cálculos y análisis, fue necesario realizar diversas suposiciones que se clasifican en dos tipos: las primeras, generales para todo el análisis; las últimas, fundamentales del modelo matemático de simulación (*Anexo B*).

Cuadro II. 6. Suposiciones generales

Suposición	Ventajas	Desventajas
Análisis hidrológico detallado de la Cuenca del Río San Juan, y generalizado en las cuencas vecinas.	Relaciona los aspectos hidrológicos históricos con la problemática observada en la Cuenca del Río San Juan.	Se estudia con menor detalle la importación de agua desde cuencas externas, que el manejo interno en la Cuenca del Río San Juan.
Se analizaron condiciones mensuales históricas.	Con base en la información es la escala de tiempo más representativa.	No se describen detalladamente los fenómenos extremos, como son las avenidas extraordinarias.
Complementación de registros climatológicos faltantes mediante funciones de regresión lineal.	Obtención de registros globales para un período de tiempo más extenso.	Pérdida de similitud entre registros reales y calculados para los periodos con menor información.
La demanda se calculó según el número de usuarios su ubicación y sus características.	Conocimiento aproximado de la evolución histórica de la demanda de agua en la zona de estudio.	El margen de error limita la aplicabilidad de los resultados a una perspectiva regional y no local.
Crecimiento de la población según las proyecciones demográficas propuestas por el CONAPO en 1995	Permite la estimación de las dotaciones actuales y de las demandas de agua futuras para consumo humano.	En algunos municipios las tasas de crecimiento propuestas por CONAPO, reflejan un menor crecimiento con respecto al observado.
Las extracciones se determinaron según la disponibilidad histórica del agua y de la capacidad de la infraestructura de aprovechamiento.	Este criterio permite detectar la necesidad de infraestructura hidráulica de abastecimiento en los años pasados y en el futuro.	El censo de aprovechamientos es poco detallado, se desconoce la magnitud real de las extracciones y las políticas históricas de operación .
Mediante los registros de extracciones, de escurrimiento y de lluvia, se calculó un escurrimiento <i>virgen</i> histórico.	Este escurrimiento permitió estimar la disponibilidad natural de agua en el futuro, así como generar muestras sintéticas.	El error en cada uno de los registros considerados determina un error acumulado que reduce la confiabilidad general del análisis.
La generación de escurrimientos <i>virgenes</i> , únicamente se aplicó a la totalidad de la cuenca del río San Juan y no a subcuencas parciales.	Esto permite evaluar distintos escenarios pasados y futuros para identificar la sensibilidad del sistema ante la disponibilidad de agua superficial.	El criterio no se aplicó a cuencas externas a la del río San Juan, pues dicha tarea requiere de un conocimiento de las subcuencas vecinas.
Los aspectos sociales, políticos y legales, únicamente fueron interpretados en forma preliminar, con base en el sentido común.	Esto permite proponer alternativas con un fundamento global simplificado y no únicamente basadas en criterios cuantitativos, económicos e hidrológicos.	Los resultados de la propuesta no contemplan un análisis profesional de dichos aspectos, ni de su interacción con el marco hidrológico.
Los aspectos económicos consideran únicamente los costos de las obras hidráulicas estructurales.	Es posible comparar el costo de diferentes alternativas estructurales de aprovechamiento futuro del agua.	No se determina el efecto económico de los cambios en la disponibilidad del agua en cada parte del área de estudio.

II. 4. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

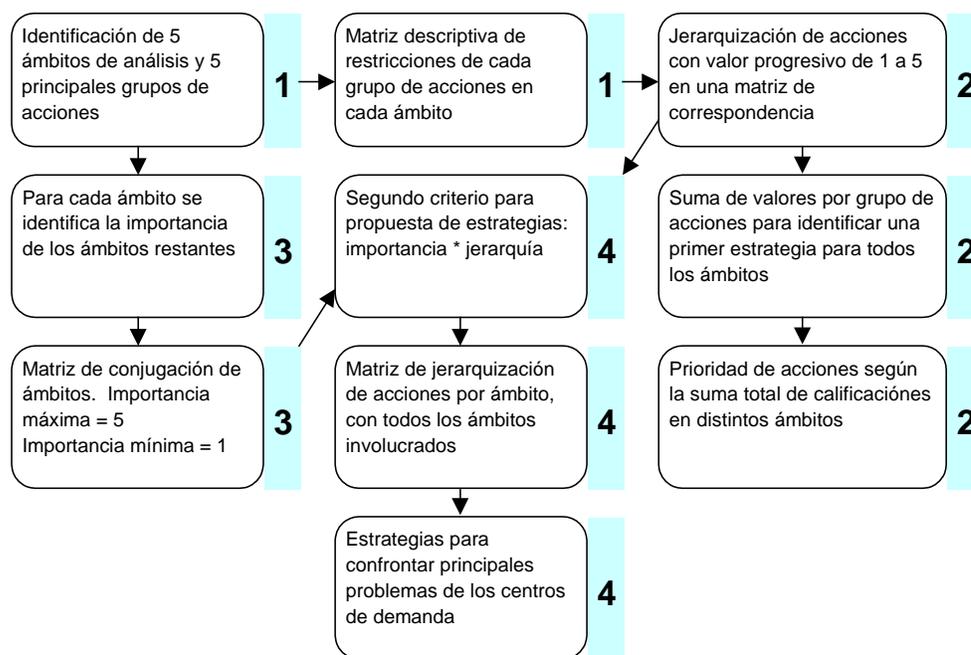
Las alternativas, se ordenaron y clasificaron según los siguientes criterios lógicos y evaluativos:

- Interrelación y dependencia.
- Ubicación.
- Estado de desarrollo en 1999.
- Importancia, según usuario al que permiten su subsistencia.
- Costo¹.
- Restricciones legales, políticas, sociales e hidrológicas.
- Impacto con respecto a otras acciones, según distintos ámbitos de desarrollo: hidrológico, político, social, ambiental y económico.

Con base en los criterios descritos, se propusieron las prioridades para cada centro de demanda, así como las acciones convenientes para su desarrollo.

La metodología para realizar esta actividad, se describe en el siguiente diagrama.

Figura II. 8. Procedimiento para llevar a término la evaluación y comparación de alternativas²



¹ El costo de las obras se comparó con el calculado en el PIAAPAMM, lo cual confirmó en mejor medida la congruencia de los criterios de análisis.

² A la derecha de cada bloque se del diagrama se indica con un número un cuadro de ejemplo, mostrado abajo del diagrama.

Cuadro II. 7. Ejemplo de correspondencia entre dos tipos de acción y tres ámbitos de desarrollo

	Restricciones	Político	Económico	Hidrológico
1	Reuso	Mientras no se resuelvan los déficits, el reuso intensifica la competencia por el agua	Costo elevado, rentabilidad comprobada para fines públicos e industriales	Esta opción promueve la desertificación y la reducción del escurrimiento
	Importación	Existe ya una predisposición negativa de los habitantes de las cuencas vecinas	Costo máximo de alternativas previstas	Puede incrementar la disponibilidad relativa promedio regional

	Calif. Restricc.	Político	Económico	Hidrológico	Total
2	Reuso	3	3	4	17
	Importación	4	5	2	18

Peso asignado a cada ámbito				
	Escenario	Político	Económico	Hidrológico
3	Político	5	4	2
	Ambiental	2	1	3

	Político	Económico	Hidrológico	
4	Reuso	3.3	3.3	3.5
	Importación	3.7	3.7	3.3

	Político	Económico	Hidrológico	
5	Reuso	91%	89%	95%
	Importación	100%	100%	88%

Tal como se muestra en el cuadro II. 7, son dos aspectos los considerados para la propuesta de estrategias:

- **Ámbito.** Que es el tema que atañe en mayor medida a la problemática del agua en la zona de estudio.
- **Acciones.** Son una clasificación de las acciones en distintos frentes de trabajo, misma que permitió proponer la prioridad de las mismas.

Se propusieron cinco ámbitos: político, social, ambiental, económico e hidrológico.

La jerarquización o comparación de las acciones, se fundamentó en

una asignación de importancia a las mismas, en función de su relevancia para cada ámbito.

En un primer ejercicio se atribuyó una misma importancia a todos los ámbitos, con lo cual se obtuvo una primera estrategia que jerarquizó las acciones.

Posteriormente, se hizo una nueva hipótesis: que aún en aquellos sitios en que existía un ámbito prioritario, los otros presentaban una jerarquía menor y descendente. Esto permitió establecer la importancia de cada ámbito, a partir de los demás.

Todas las jerarquizaciones se efectuaron mediante la asignación de valores que variaban desde 1 hasta 5.

Finalmente se obtuvo una gráfica resumen, en la cual se representó la prioridad de las acciones en cada ámbito, donde los valores mínimos atribuían la menor importancia y los máximos, la mayor. Ante los cinco ámbitos analizados, esto determinó cinco criterios de jerarquización de las acciones para el aprovechamiento hidráulico.

II. 5. ESCENARIOS Y PROPUESTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

Como resultado de la evaluación y comparación de alternativas se obtuvieron cinco mecanismos estratégicos para confrontar los problemas por insuficiencia de agua, que correspondían a su vez, a los ámbitos descritos.

De este modo, los centros de demanda de agua de la CRSJ, se discretizaron en nueve principales grupos y se procedió a identificar, según la problemática de cada uno, la estrategia necesaria para su óptimo desarrollo hidráulico.

Las estrategias de los distintos centros de demanda, se conjugan en la totalidad de la zona de estudio, de modo que como un siguiente paso, se relacionaron las estrategias locales, para definir una estrategia global, misma que consiste en un diagrama que conjuga: centros de demanda, acciones, prioridad e interdependencia.

El modelo de simulación diseñado para analizar el efecto de las acciones, se ajustó para analizar el efecto de la propuesta de aprovechamientos hidráulicos para la CRSJ, tal como se propuso en el diagrama de estrategia global.

La aplicación del modelo de simulación, permitió calcular con mayor precisión el efecto de las acciones sobre el sistema, así como sus períodos recomendables de operación e influencia.

En principio, se estudiaron tres escenarios probables, denominados: crítico, esperado y óptimo. Estos difieren entre sí, según el cumplimiento de las acciones propuestas, que se considera que corren riesgo de no lograrse; de modo que el primer escenario considera la falla de dichas acciones; el último, el caso más favorable y el último, la tendencia observada. Este ejercicio refleja principalmente la importancia de las acciones que dependen de la cooperación conjunta de los usuarios del agua de la cuenca y de sus alrededores.

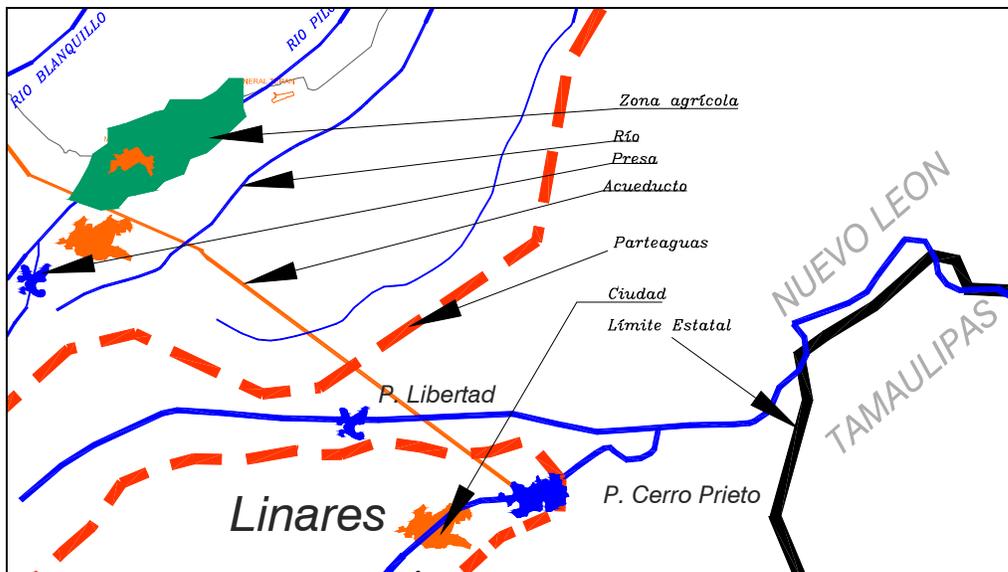
Para el caso de los centros de demanda aislados, se aplicó un modelo simplificado de pronóstico, que tuvo el mismo propósito que el modelo hidrológico general, donde se evaluó la evolución quinquenal de la disponibilidad, como función de las acciones de aprovechamiento hidráulico propuestas.

De este modo, los criterios previamente citados, permitieron elaborar un resumen de las acciones propuestas, que se resume en cuadros y figuras del capítulo V.

Los *Anexas E y F* presentan respectivamente, los archivos magnéticos relativos a la tesis, así como material fotográfico y de la presentación del examen recepcional.

En general, la simbología de las figuras se resume en la siguiente Figura II. 9.

Figura II. 9. Simbología de figuras cartográficas del documento



CAPITULO III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

INDICE TEMATICO

III.	Descripción del Área de Estudio	15
III.1.	Marco Físico	15
III.1.1.	Localización del área de estudio	15
III.1.2.	Fisiografía.	17
III.1.3.	Hidrología	18
III.1.3.1.	Precipitación	21
III.1.3.2.	Escurrimiento	24
III.1.3.3.	Evaporación.	29
III.1.3.4.	Acuíferos	30
III.2.	Usos del Agua	35
III.2.1.	Uso público y urbano	37
III.2.1.1.	Población	37
III.2.1.2.	Situación del suministro de agua potable en la CRSJ	43
III.2.2.	Uso agrícola y pecuario	46
III.2.2.1.	Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan	48
III.2.2.2.	Distrito de riego 031, Las Lajas	49
III.2.2.3.	Distritos de riego en los alrededores de la Cuenca del Río San Juan	49
III.2.2.4.	Unidades agrícolas y otras zonas de riego.	50
III.2.2.5.	Uso pecuario	51
III.2.3.	Uso industrial	52
III.2.4.	Uso para generación de energía eléctrica	52
III.2.5.	Uso del agua residual urbana	53
III.2.5.1.	Uso del agua residual para fines agrícolas	55
III.2.5.2.	Uso del agua residual para fines urbanos e industriales	56
III.2.6.	Infraestructura hidráulica	57
III.2.7.	Marco legal	64
III.3.	Balance Hidrológico	67
III.4.	Calidad del agua	71

INDICE DE FIGURAS

Figura III. 1.	Cuenca del Río San Juan y sus principales ríos	15
Figura III. 2.	Cuencas hidrológicas, comprendidas en la zona de estudio	16
Figura III. 3.	Provincias fisiográficas	17
Figura III. 4.	Subcuencas hidrológicas propuestas por GASIR	19
Figura III. 5.	Rasgos geográficos generales locales de la subregión San Juan	20
Figura III. 6.	Climas de la Subregión administrativa San Juan	21
Figura III. 7.	Precipitación anual histórica en la Cuenca del Río San Juan	22
Figura III. 8.	Isoyetas anuales (mm) y estaciones climatológicas en la Cuenca del Río San Juan (1940 – 1969)	23
Figura III. 9.	Localización de estaciones hidrométricas, directamente involucradas con la CRSJ	24

Figura III. 10. Hidrograma promedio mensual de algunas estaciones hidrométricas de la CRSJ _____	25
Figura III. 11. Esguerrimiento anual “virgen” en la CRSJ y en sus dos principales afluentes _____	26
Figura III. 12. Probabilidad anual de excedencia (1940 a 1991) de entradas a la presa Marte R. G _____	27
Figura III. 13. Esguerrimiento promedio mensual en estaciones hidrométricas de cuencas vecinas _____	27
Figura III. 14. Esguerrimiento promedio anual en estaciones hidrométricas locales y circundantes _____	28
Figura III. 15. Localización de estaciones hidrométricas ubicadas al Sureste de la CRSJ _____	28
Figura III. 16. Estaciones hidrométricas al Noroeste de la CRSJ _____	29
Figura III. 17. Evaporación potencial promedio mensual en cinco estaciones climatológicas _____	29
Figura III. 18. Acuíferos de la Cuenca del Río San Juan y condición de aprovechamiento _____	32
Figura III. 19. Acuíferos de la Subregión San Juan y principales ciudades _____	32
Figura III. 20. Acuíferos de la Subregión San Juan, de sus alrededores y zonas agrícolas _____	33
Figura III. 21. descripción del uso del agua subterránea en la Subregión San Juan _____	33
Figura III. 22. Usos de agua por acuífero en la Subregión San Juan _____	33
Figura III. 23. Representación gráfica de la recarga y la extracción anual por acuífero, 1998 _____	34
Figura III. 24. Balance de agua subterránea en acuíferos que no se encuentran en equilibrio _____	35
Figura III. 25. Proporción de aprovechamiento del agua en sus tres principales usos, 1995 _____	36
Figura III. 26. Fuentes de abastecimiento Vs. usos del agua en la cuenca del río San Juan, 1995 _____	36
Figura III. 27. Evolución de la demanda de agua para distintos usos y disponibilidad de agua _____	37
Figura III. 28. Municipios de la Subregión San Juan _____	38
Figura III. 29. Principales Ciudades de la Subregión San Juan _____	38
Figura III. 30. Distribución de municipios, según su Estado y su cuenca hidrológica _____	39
Figura III. 31. Distribución de la población de la Cuenca del Río San Juan _____	39
Figura III. 32. Rangos de población en los municipios de la Subregión Administrativa San Juan _____	39
Figura III. 33. Distribución porcentual de la población en la zona de estudio en 1995 _____	40
Figura III. 34. Proyección demográfica según censos durante el período 1895 - 1995 _____	40
Figura III. 35. Densidad de población municipal en la zona de estudio _____	41
Figura III. 36. Dotación y coberturas aproximadas en cada municipio de la subregión San Juan _____	43
Figura III. 37. Demanda municipal de agua potable y fugas en su suministro en 1995 _____	43
Figura III. 38. Distribución porcentual de la demanda anual para la ZMM. _____	44
Figura III. 39. Proyección demográfica calculada en las principales subcuencas de la CRSJ. _____	45
Figura III. 40. Proyección de la demanda en las principales cuencas del área de estudio. _____	45
Figura III. 41. Localización de los Distritos de Riego y otras zonas con agricultura de riego en la Zona de Estudio _____	47
Figura III. 42. Superficie, lámina y volumen de riego de la subregión San Juan, 1995 _____	47
Figura III. 43. Distribución porcentual de la demanda anual para uso agrícola en el DR026 _____	48
Figura III. 44. Distritos y unidades de riego en la subregión administrativa San Juan _____	50
Figura III. 45. Espaciograma en que se aprecia la lotificación de la subcuenca del Alto río San Juan _____	51

<i>Figura III. 46. Uso del agua residual originaria de la ZMM</i>	55
<i>Figura III. 47. Localización e inicio de operación de fuentes de abastecimiento de Monterrey</i>	58
<i>Figura III. 48. Representación gráfica de la infraestructura de distribución, almacenamiento y drenaje de la Ciudad de Monterrey</i>	60
<i>Figura III. 49. Inicio de operaciones de las principales presas construidas en la CRSJ y en sus alrededores</i>	60
<i>Figura III. 50. Condición de disponibilidad anual en las cuencas de la zona de estudio</i>	67
<i>Figura III. 51. Volumen de lluvia, escurrimiento y demanda de agua en la CRSJ (Mm³/año)</i>	68
<i>Figura III. 52. Proporción con que se distribuye el escurrimiento promedio anual en la CRSJ</i>	69
<i>Figura III. 53. Demanda acumulada de agua superficial en la CRSJ</i>	70
<i>Figura III. 54. Comparación del escurrimiento “virgen”, con la demanda acumulada</i>	70
<i>Figura III. 55. Índice de Calidad del Agua reportado en las estaciones de monitoreo en 1997</i>	72

INDICE DE CUADROS

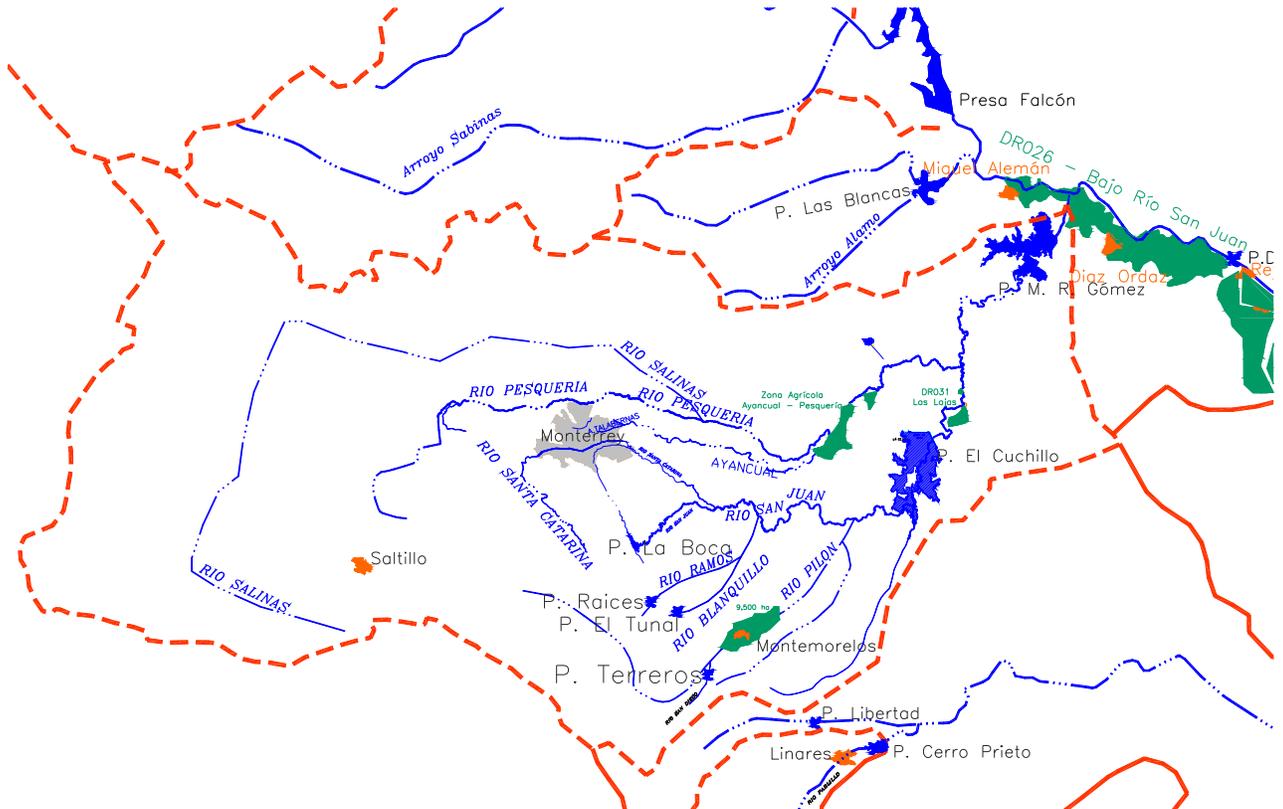
<i>Cuadro III. 1. Superficie, precipitación y escurrimiento “virgen” de las 14 subcuencas</i>	18
<i>Cuadro III. 2. Balance de aguas subterránea de los acuíferos de la Subregión San Juan</i>	30
<i>Cuadro III. 3. Rendimiento y profundidad al nivel estático en los acuíferos, según su porosidad</i>	31
<i>Cuadro III. 4. Descripción general de los acuíferos de la Subregión San Juan</i>	35
<i>Cuadro III. 5. Reuso del agua en la ZMM (Mm³/año).</i>	36
<i>Cuadro III. 6. Tipos de población y distribución de los habitantes en las mismas</i>	41
<i>Cuadro III. 7. Proyección de población en los municipios y en las principales ciudades</i>	42
<i>Cuadro III. 8. Rasgos del suministro de agua potable a las grandes ciudades</i>	43
<i>Cuadro III. 9. Servicio de agua potable en ciudades con más de 50,000 habitantes, 1995</i>	43
<i>Cuadro III. 10. Características de los Distritos de Riego de la Zona de Estudio</i>	46
<i>Cuadro III. 11. Descripción del uso pecuario y de su demanda de agua</i>	51
<i>Cuadro III. 12. Demanda de agua para generación de energía eléctrica</i>	53
<i>Cuadro III. 13. Evolución de los costos del agua potable en la ZMM y demanda de agua residual</i>	54
<i>Cuadro III. 14. Parámetros simplificados para el uso agrícola</i>	56
<i>Cuadro III. 15. Parámetros simplificados para el uso urbano</i>	56
<i>Cuadro III. 16. Parámetros simplificados para el uso industrial</i>	56
<i>Cuadro III. 17. Uso potencial y resultante para fines industriales</i>	57
<i>Cuadro III. 18. Uso potencial y resultante para fines urbanos</i>	57
<i>Cuadro III. 19. Descripción general de fuentes subterráneas de abastecimiento de la ZMM</i>	58
<i>Cuadro III. 20. Evolución de la aportación de las fuentes de abastecimiento de Monterrey (l/s)</i>	61
<i>Cuadro III. 21. Principales presas de la Cuenca del Río San Juan y sus alrededores</i>	63

<i>Cuadro III. 22.</i>	<i>Ubicación, proceso de tratamiento y gasto de operación de las principales plantas de tratamiento de la Cuenca del Río San Juan</i>	<i>63</i>
<i>Cuadro III. 23.</i>	<i>Componentes del balance hidráulico de las subcuencas del río San Juan</i>	<i>68</i>
<i>Cuadro III. 24.</i>	<i>Aspectos de la calidad del agua en corrientes de la subregión San Juan</i>	<i>71</i>
<i>Cuadro III. 25.</i>	<i>Características generales de las plantas de tratamiento de la subregión San Juan</i>	<i>71</i>

III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se describen aspectos sociales y técnicos de la zona de estudio, fundamentales para el desarrollo de la tesis. Por su extensión, se recomienda al lector únicamente leer los apartados que necesite.

Figura III. 1. Cuenca del Río San Juan y sus principales ríos



III.1. MARCO FÍSICO

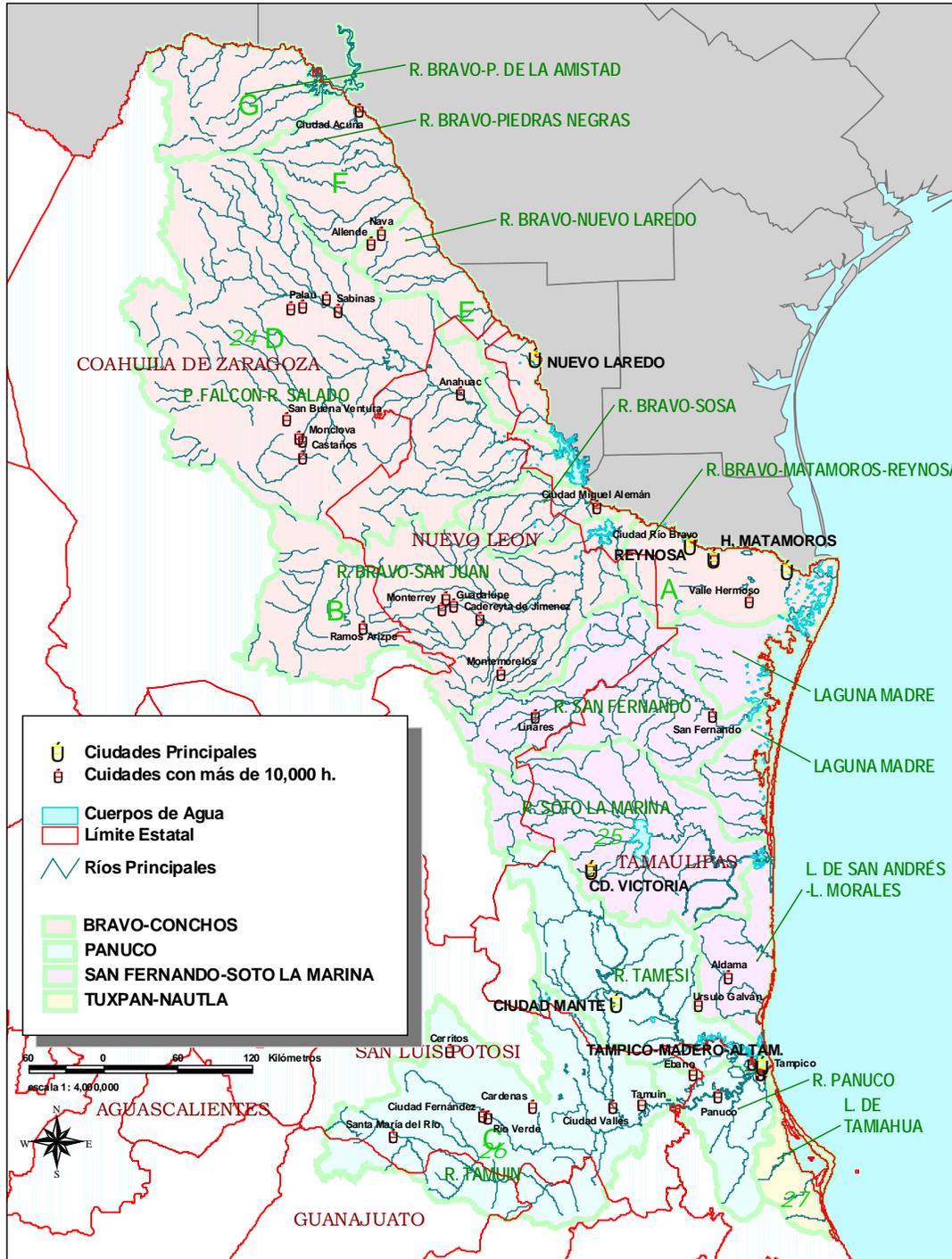
III.1.1. Localización del área de estudio

La Cuenca del Río San Juan (CRSJ) se encuentra en la Región Administrativa VI¹ *Río Bravo*, dentro de la región hidrológica 24, Frontera Norte, de la cual, es la subregión 24 F; políticamente su superficie, de 31,682 km² abarca parte de los estados de Nuevo León, 57.2%; Tamaulipas, 3% y Coahuila 39.8%. La zona de estudio comprende también algunas cuencas vecinas: hacia el sur, hasta el río Pánuco y al Oeste, las cuencas del Bravo desde la presa Amistad.

Dentro de la Región *Río Bravo*, aguas arriba de la confluencia del río San Juan, con el río Bravo, se encuentran las subregiones 24 A, Río Conchos; 24 B, Presa La Amistad – Ojinaga; 24 C, Río Salado y Sabinas; 24 D, Medio Bravo; 24 E; Río Alamo y aguas abajo de la confluencia, la 24 G, Bajo Bravo – Figura III. 1 -. Sobre el río Bravo, aguas abajo de la presa Falcón, la Cuenca del Río San Juan es la que aporta caudales de mayor magnitud.

¹ Regionalización propuesta por la Comisión Nacional del Agua.

Figura III. 2. Cuencas hidrológicas, comprendidas en la zona de estudio

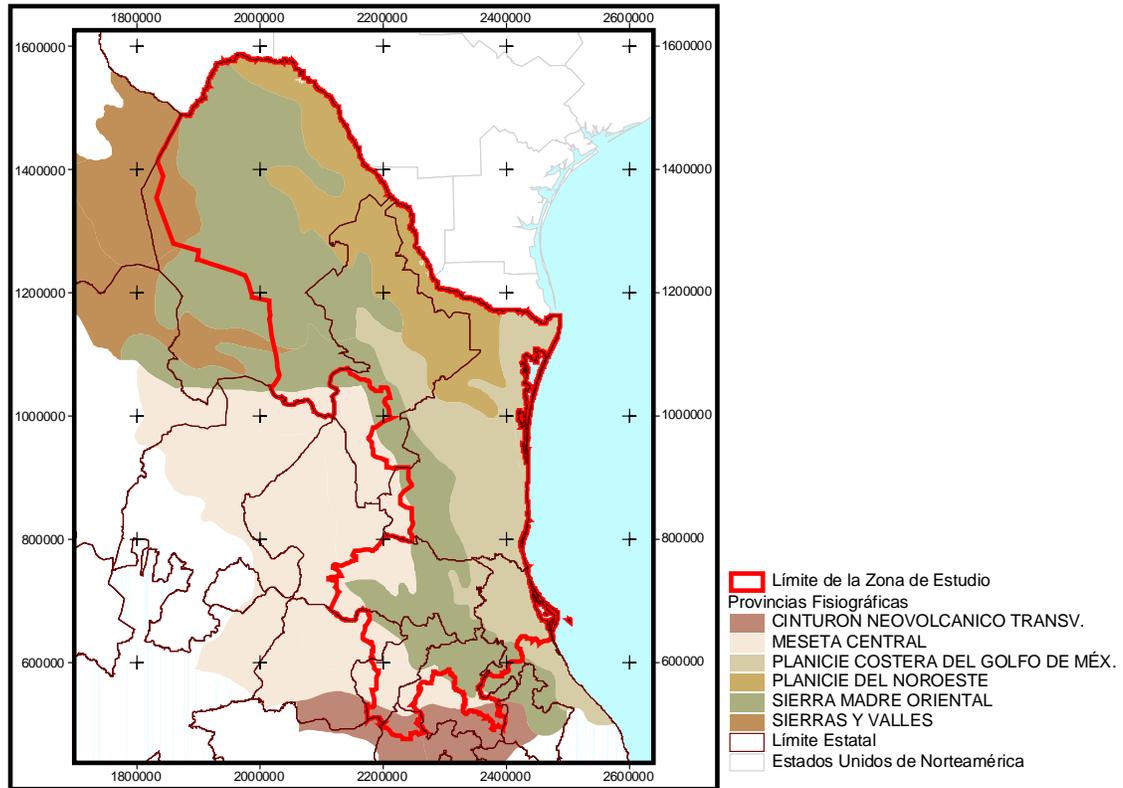


Al sur de la Cuenca del Río San Juan, se encuentra la Región Golfo Norte, que de Norte a Sur, involucra a las subregiones: 25 A, San Fernando; 25 B, Soto La Marina y 26 A, Bajo Pánuco.

III.1.2. Fisiografía.

La Cuenca del Río San Juan se localiza dentro de las dos provincias fisiográficas: Llanura Costera del Golfo Norte y la Sierra Madre Oriental; se adopta la dirección Este - Oeste (subprovincias de Sierras Atravesadas) con un ancho promedio de 125 km.

Figura III. 3. Provincias fisiográficas



La Sierra Madre Oriental cubre la cuenca del río San Juan, de Noroeste a Sudeste; alcanza su mayor altitud en el Sudeste, en los límites con Tamaulipas, en donde se localizan los cerros Peña Nevada, de 3,700 msnm y “El Potosí”, que se asciende a más de 3,600 msnm. Existen amplias llanuras, interrumpidas en algunas regiones por sierras aisladas que conservan la dirección Norte y Noroeste de la Ciudad de Monterrey; se localizan las Sierras: Minas Viejas, del Fraile, de la Laguna, Lampazos, Picacho y Papagayo; que son sierras frontales. Al Sudeste de Monterrey está el Cerro de la Silla. Al Oriente rocas sedimentarias del Terciario; al centro, en una franja amplia que corre de Norte a Sur, se interceptan con la Sierra Madre Oriental, rocas sedimentarias del Secundario, con predominio de calizas y areniscas, y al Sudoeste rocas volcánicas extrusivas del terciario.

La Llanura Costera del Golfo Norte consiste en una franja angosta de terrenos de forma irregular aunque continua, la cual se extiende entre la Sierra Madre Oriental y el Golfo de México. Su morfología es de llanura con pendiente suave hacia el mar; manifiesta en algunas partes suaves ondulaciones de terreno que definen áreas bajas. Los fértiles suelos de ésta llanura producen

actualmente buena parte de los granos y cítricos del país, esta provincia se representa por la subprovincia denominada Llanuras y Lomeríos, específicamente sobre el área de Monterrey, Montemorelos y Linares.

Esta zona presenta suelos: aridisoles, sódicos, salinos, litosoles, regosoles, solonchack, aluviales, desérticos grises y rojos.

III.1.3. Hidrología

El río San Juan es la corriente principal de la Cuenca del Río San Juan y sus principales afluentes son los ríos: Salinas, Pesquería, Ayancual, Santa Catarina, Ramos y Pilón. A partir de la localización de dichos ríos y de sus áreas de captación, la cuenca se subdivide en catorce subcuencas.²

Cuadro III. 1. Superficie, precipitación y escurrimiento “virgen” de las 14 subcuencas

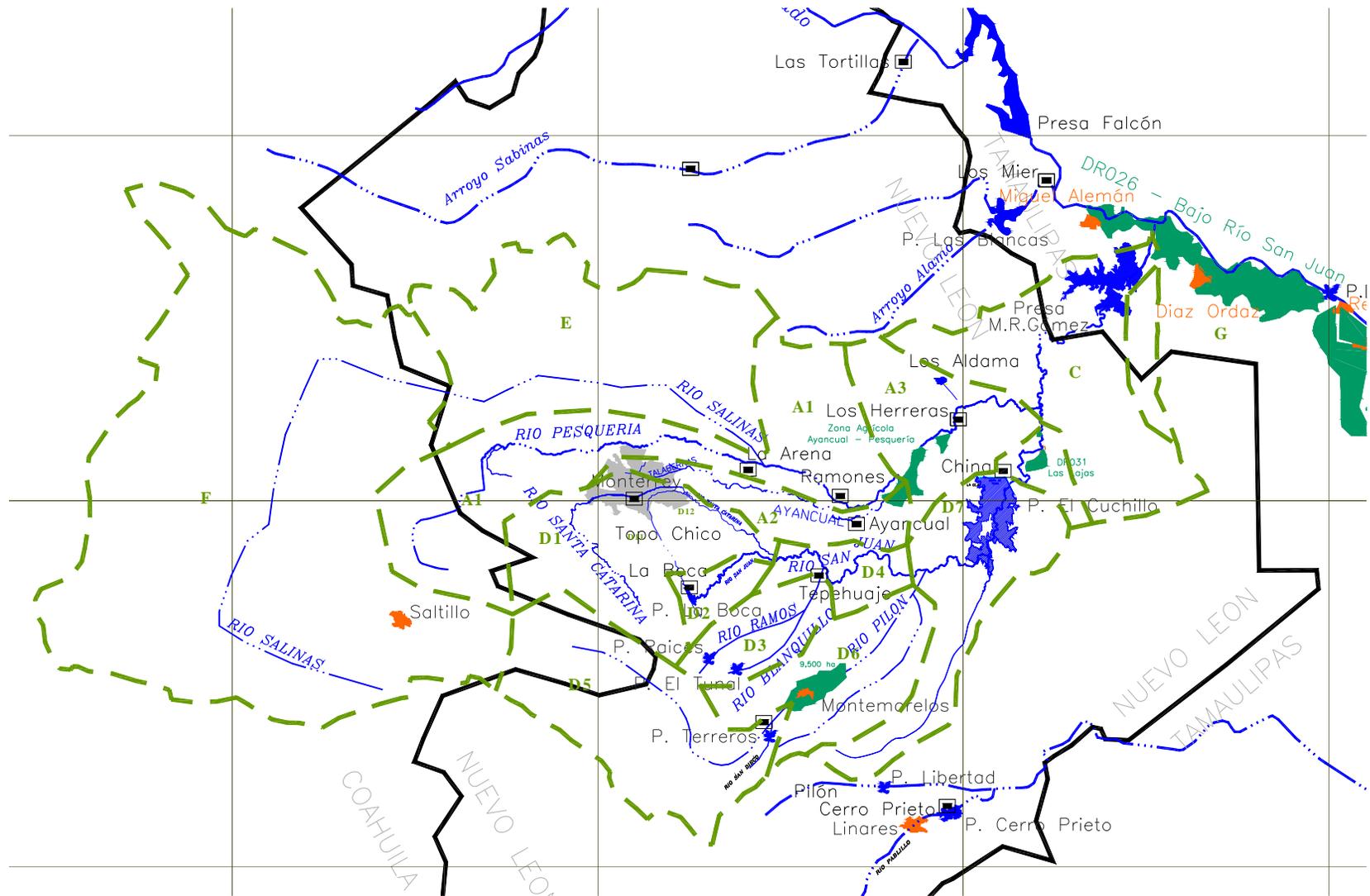
Zona		km ²	hp (mm)	LI (Mm ³)	Esc (Mm ³)
D5	Río Casillas	2,626	531	1393.5	77.7
D6	Río Pilón	1,422	759	1078.8	135.4
D4	Río San Juan (hasta confluencia con el río Pilón)	535	692	370.2	73.5
D3	Río Ramos (hasta la confluencia con el río San Juan)	717	437	313.5	73.0
D1	Río Santa Catarina (hasta la confluencia con el río San Juan)	2,753	497	1368.9	152.2
D2	Río San Juan (hasta confluencia con el río Santa Catarina)	331	692	229.1	43.3
D7	Río San Juan (hasta la presa El Cuchillo)	1,818	607	1102.8	146.5
F	Río Salinas (parte alta y media)	10,804	304	3284.6	14.8
A1	Río Pesquería (hasta su confluencia con el río Ayancual)	3,696	419	1550.3	72.1
E	Río Salinas (parte baja)	4,480	387	1734.6	39.4
A2	Río Ayancual (hasta su confluencia con el río Pesquería)	776	637	494.8	31.3
A3	Río Pesquería (hasta su confluencia con el río San Juan)	1,758	539	948.5	42.9
B	Río San Juan (hasta su unión con el río Pesquería)	356	504	179.4	28.2
C	Río San Juan (hasta la presa Marte R. Gómez)	2,298	515	1183.0	185.8
Total		34,370	443	15232.1	1116.0

Resumen.xls

En ciertos estudios regionales de gran visión, la superficie de la Cuenca del río San Juan, se divide en cuatro subcuencas: i) Alto San Juan, que representa el área de captación del río San Juan, hasta el sitio de la estación hidrométrica China, donde actualmente se encuentra la presa “El Cuchillo”; ii) Alto Pesquería, que es el área de captación de dicha corriente hasta su confluencia con el río Salinas; iii) Bajo Pesquería, o área de captación desde el río Salinas hasta su confluencia con el río San Juan y por último; iv) Bajo Río San Juan, que representa el resto de la Cuenca. Esta subdivisión se usará posteriormente, únicamente en forma enunciativa.

² Subdivisión propuesta por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR). Figura III. 4.

Figura III. 4. Subcuencas hidrológicas propuestas por GASIR



La Sierra Madre Oriental Constituye un límite hidrológico, que divide la zona costera del Golfo, de la zona árida de Coahuila y Nuevo León.

Figura III. 5. Rasgos geográficos generales locales de la subregión San Juan

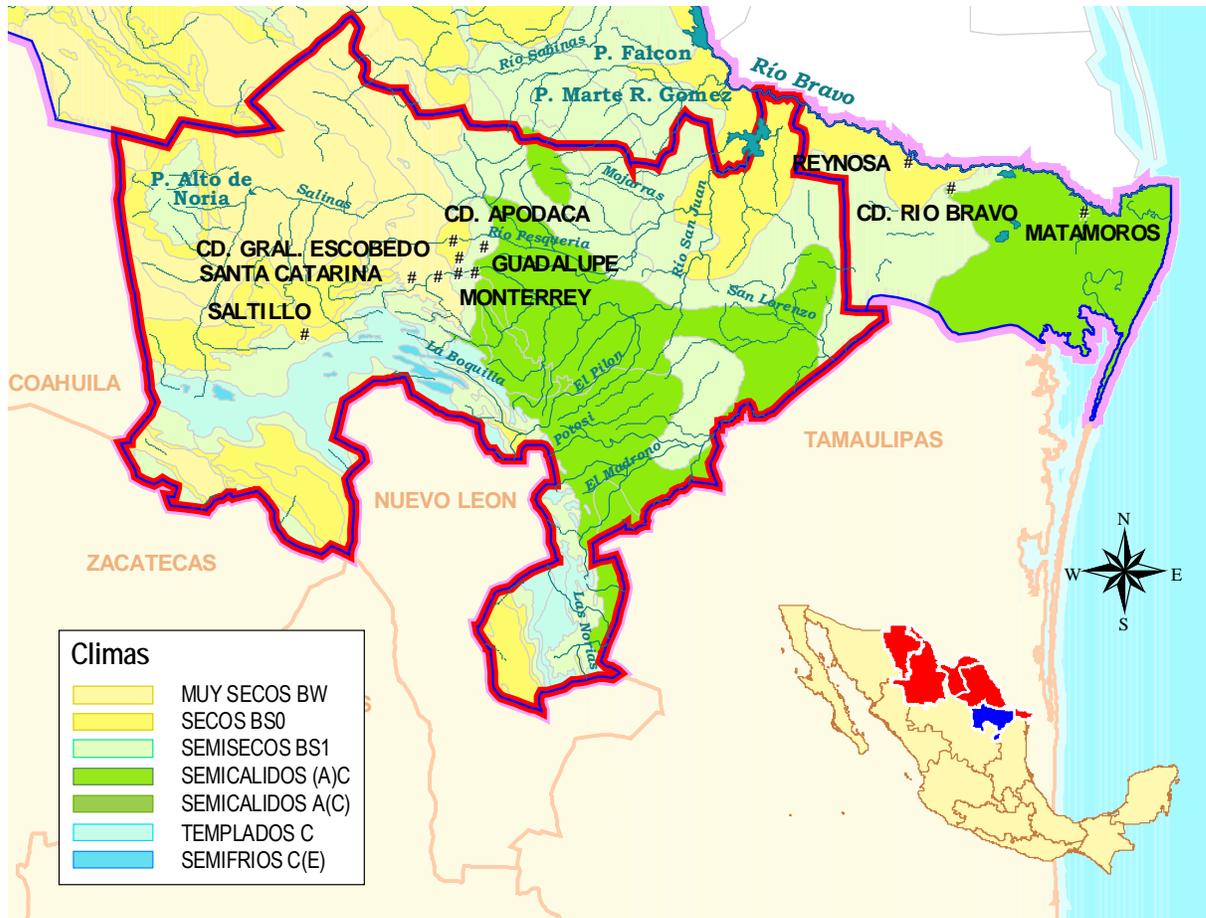


III.1.3.1. Precipitación

Casi toda la precipitación pluvial de la Cuenca del Río San Juan, proviene de tormentas ciclónicas originarias del Golfo de México. Dichas tormentas, presentan un carácter irregular que permite la ocurrencia de series de años consecutivos áridos.

Los años que presentan un ciclón o más, son años de abundancia y de recarga de los acuíferos, que ocasionalmente producen daños por inundaciones.

Figura III. 6. Climas de la Subregión administrativa San Juan³



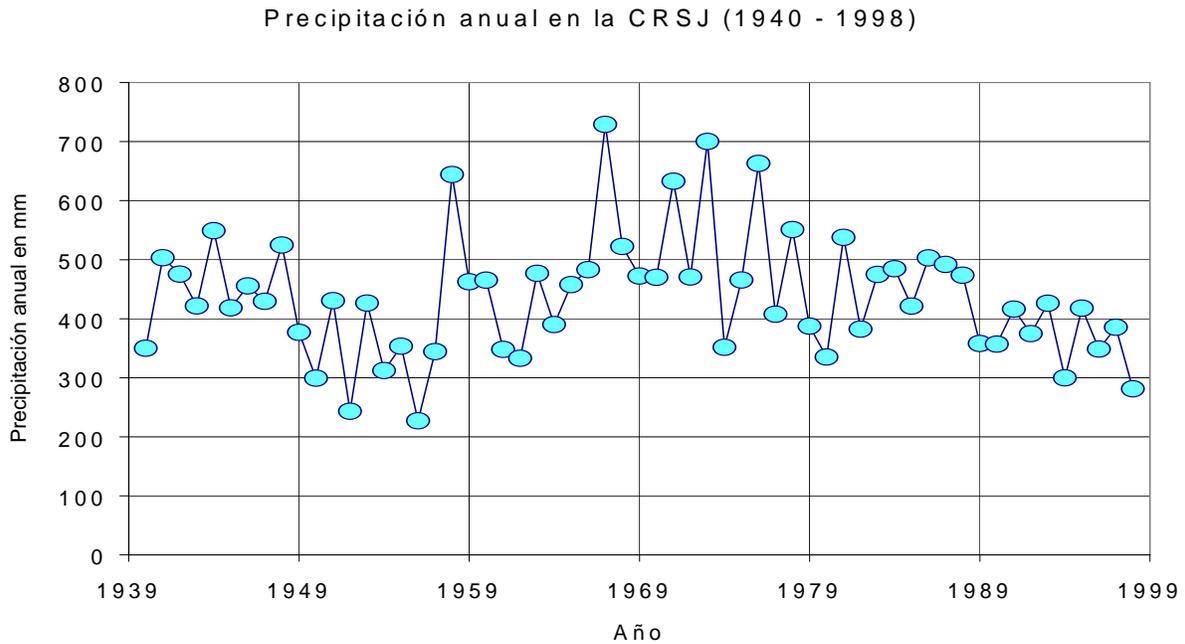
La precipitación media anual en la Cuenca del Río San Juan es del orden de los 425 mm, lo cual representa un volumen de lluvia del orden de los 14,600 Mm³ – cuadro III. 1 -, del cual escurre 1,116 Mm³, que ante los usos actuales del agua se reducen a 668 Mm³.

El promedio anual máximo de precipitación se registra en las vecindades de Montemorelos, con más de 800 mm, mientras que las mínimas, en la cuenca del Alto Río Pesquería – aguas arriba de su confluencia con el río Salinas -, del orden de los 300 mm.

Las figuras III. 7 y III. 8 muestran la magnitud y distribución de la precipitación anual en la CRSJ.

³ Conformada por una serie de municipios organizados para su participación en Cuencas, de acuerdo con la CNA.

Figura III. 7. Precipitación anual histórica en la Cuenca del Río San Juan



PrecipASJ.xls

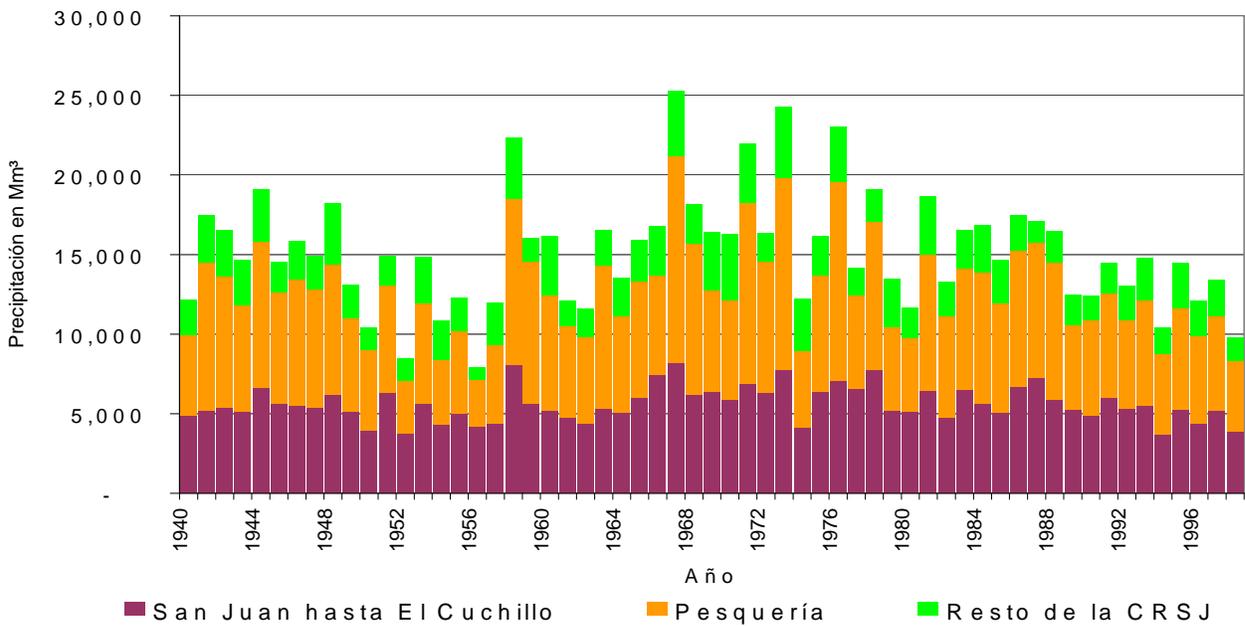
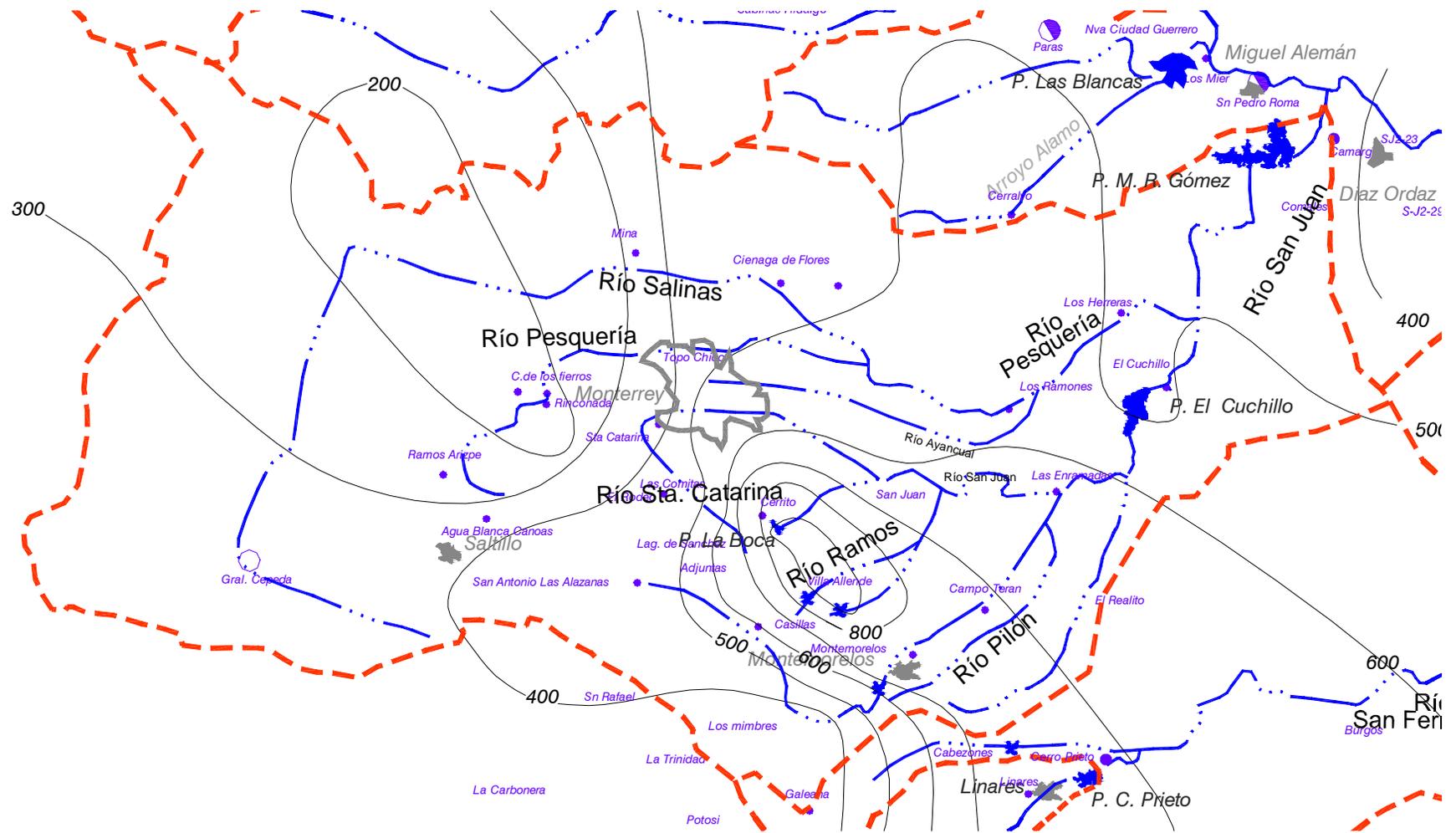


Figura III. 8. Isoyetas anuales (mm) y estaciones climatológicas en la Cuenca del Río San Juan (1940 – 1969)

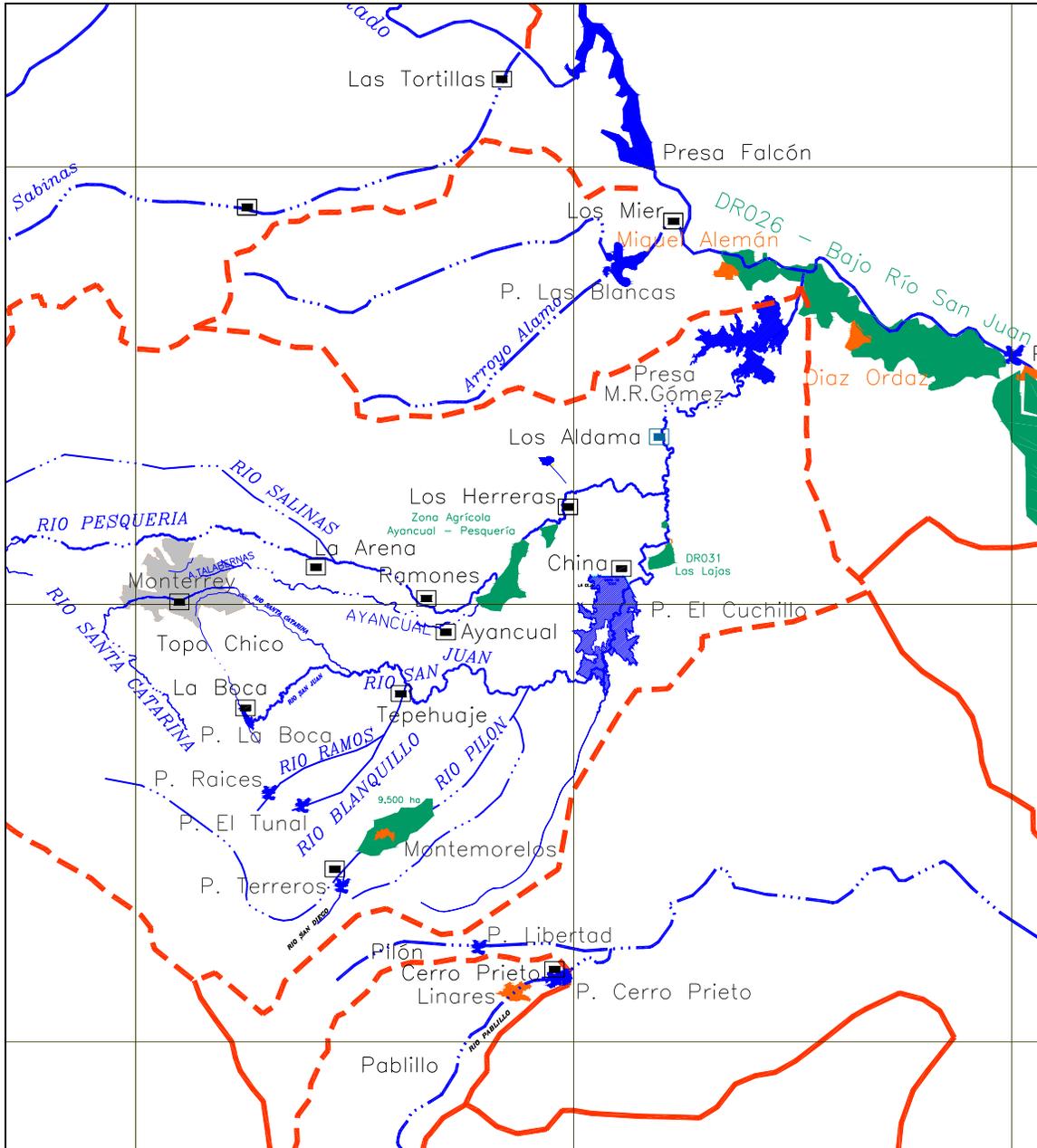


III.1.3.2. Esgurrimento

El escurrimento, además de ser sensible a las características de la precipitación, también depende de otras características fisiográficas y meteorológicas de la cuenca.

Al analizar geográficamente la Cuenca del Río San Juan, se identifica que el afluente con mayor superficie tributaria es el Río Pesquería, que cuenta con el 55 % de la superficie total de la Cuenca. A pesar de su gran superficie, el volumen de precipitación en esta subcuenca es aproximadamente un 36 % menor que en la subcuenca del Alto Río San Juan.

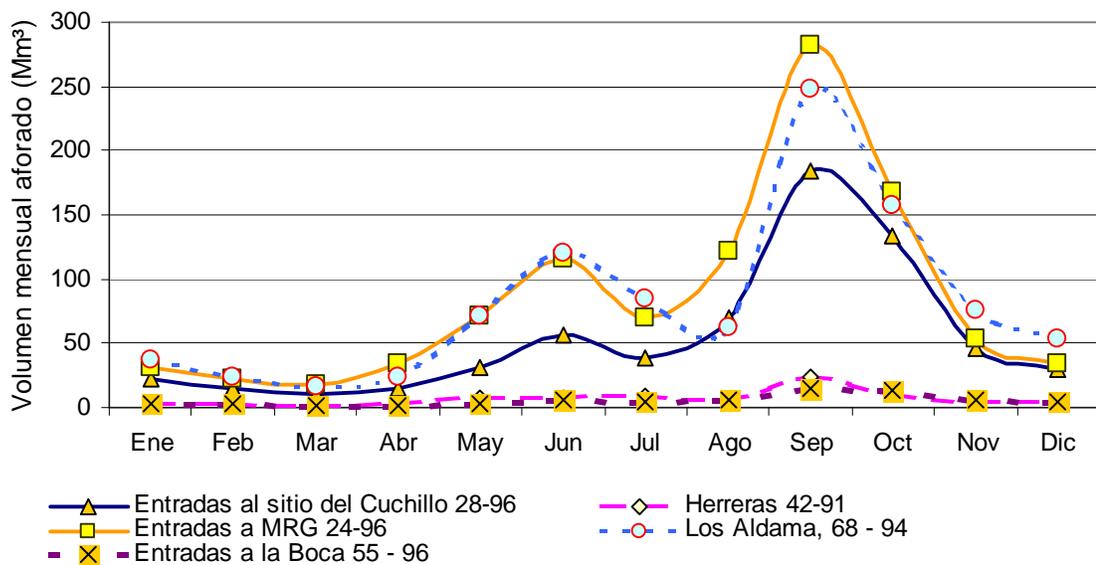
Figura III. 9. Localización de estaciones hidrométricas, directamente involucradas con la CRSJ



Como consecuencia de las diferencias pluviométricas y fisiográficas de las subcuencas del Río Pesquería y del Alto Río San Juan, el escurrimiento de la primera es aproximadamente 5 veces menor que el de la segunda.

Las estaciones hidrométricas (Figura II. 9) *Los Herreras* y *China* – sitio de la presa El Cuchillo -; que respectivamente aforan las cuencas del río Pesquería y la cuenca del Alto Río San Juan – aguas arriba de la confluencia con el río Pesquería - aforan cerca del 92% del escurrimiento de la Cuenca. En sus registros se observa que aproximadamente el 86% corresponde al río San Juan, mientras únicamente el 14% al río Pesquería (Figuras III. 10 y III. 11). La estación hidrométrica que afora toda el área del Río San Juan es Los Aldama, la cual registra gasto base todo el año, sin que éste sea de gran magnitud.

Figura III. 10. Hidrograma promedio mensual de algunas estaciones hidrométricas de la CRSJ



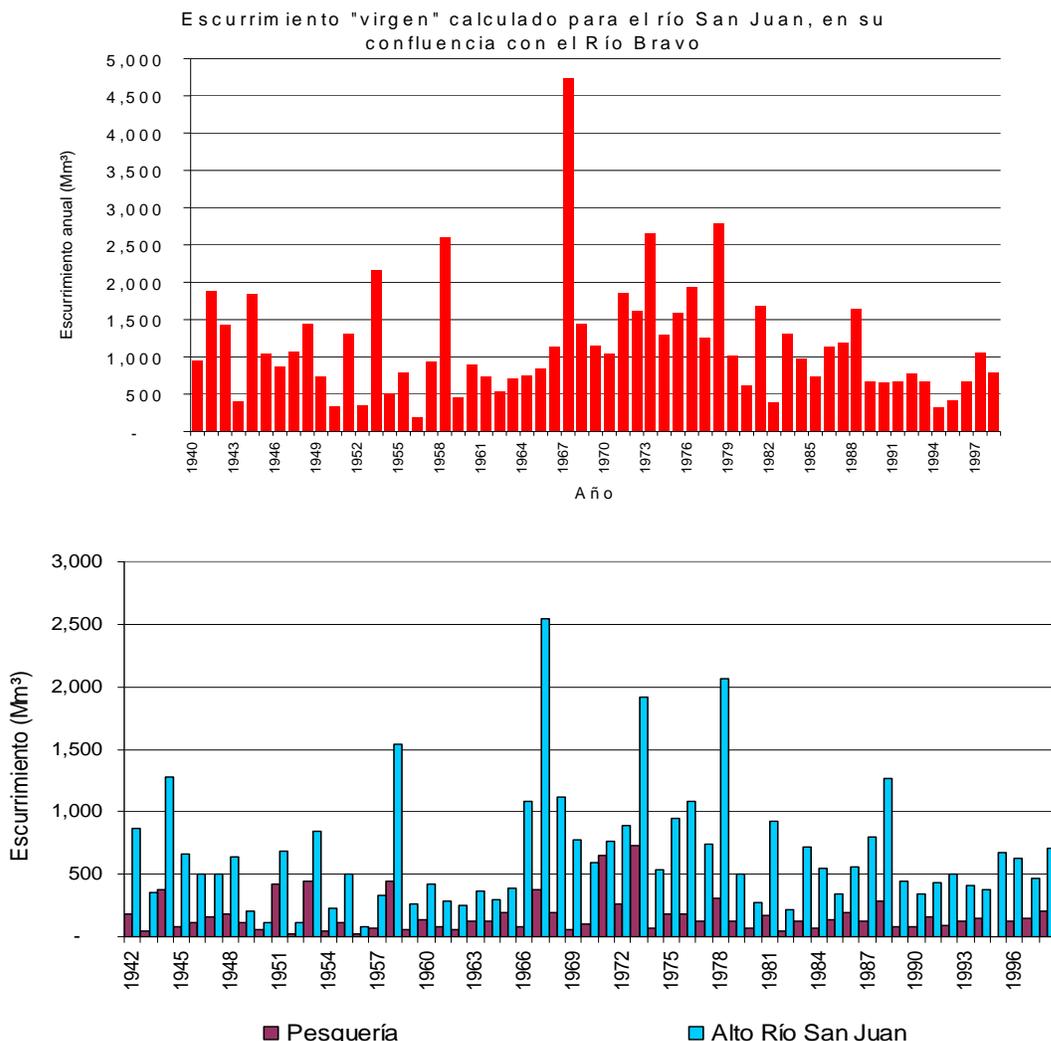
El escurrimiento presente en la subcuenca del río Pesquería, hace de ésta una zona geográfica con un clima casi desértico, difícil de habitar, en el cual la agricultura de riego únicamente se ha podido desarrollar en zonas donde se aprovecha el caudal constante de agua residual, proveniente de la Zona Metropolitana de Monterrey.

A diferencia del escurrimiento efímero característico de los arroyos de la subcuenca del río Pesquería, la subcuenca del Alto Río San Juan cuenta con ríos perennes que durante el transcurso de la historia, han permitido el desarrollo de infraestructura hidráulica para su aprovechamiento.

Una característica relevante de la CRSJ es que en general, el valor promedio del escurrimiento, proviene de series consecutivas de años áridos donde ocasionalmente se presentan escurrimientos de gran magnitud, que únicamente pueden aprovecharse en los sitios que cuentan con grandes almacenamientos.

En las Figura III. 11, se aprecia el comportamiento del escurrimiento “virgen” de la totalidad de la Cuenca del Río San Juan y de las subcuencas correspondientes a la totalidad del Río Pesquería y al Alto Río San Juan.

Figura III. 11. E scorrimiento anual “virgen” en la CRSJ y en sus dos principales afluentes

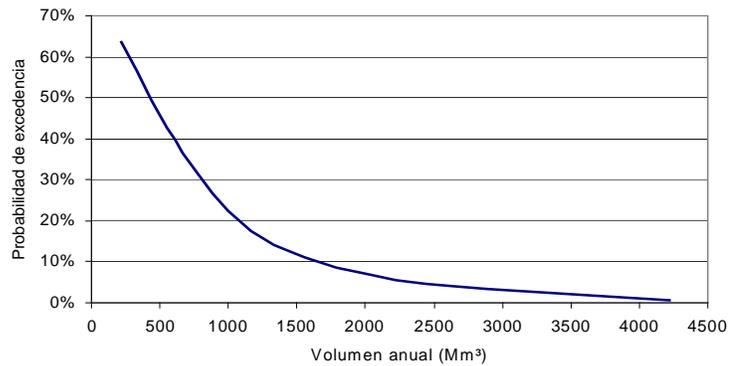


En la Figura III. 12, un análisis de frecuencias en los escurrimientos que ingresaron a la presa Marte R. Gómez, muestra que la probabilidad de que en un año se exceda el escurrimiento promedio anual – de 1,043 Mm³ de entradas a la presa-, es cercana al 20%, mientras que la mediana de la muestra (con un 50% de probabilidad de excedencia) es de 450 Mm³, equivalente a menos de la mitad del escurrimiento promedio.

El análisis estadístico de los escurrimientos anuales registrados hasta 1989 en la estación hidrométrica Camargo (aguas arriba de la confluencia del río San Juan con el Río Bravo), muestran que el gasto promedio anual era del orden de 5m³/s ⁴.

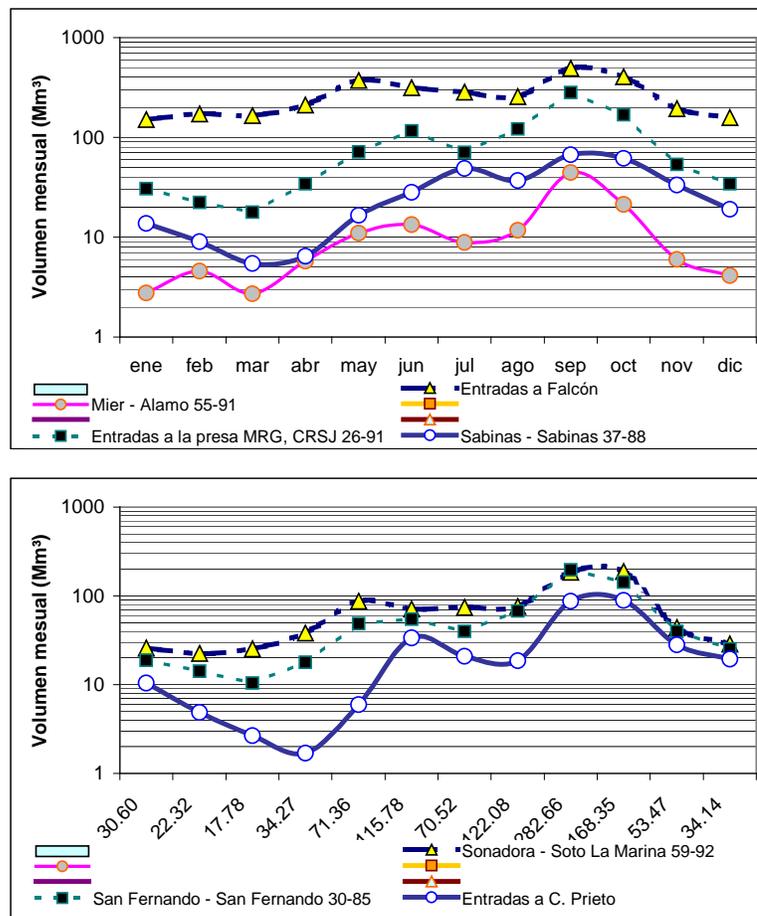
⁴ Es sencillo notar los riesgosos compromisos que implicó la posterior construcción de la presa El Cuchillo, diseñada para aprovechar hasta 12 m³/s, con el fin de restituir 6 m³/s de agua a los usuarios agrícolas del DR026. Al considerar pérdidas por evaporación del orden de 2 m³/s, una eficiencia en la distribución urbana, del 90% y un coeficiente de retorno del 60%, esta meta resulta imposible $(12-2)*0.9*0.6 = 5.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura III. 12. Probabilidad anual de excedencia (1940 a 1991) de entradas a la presa Marte R. G



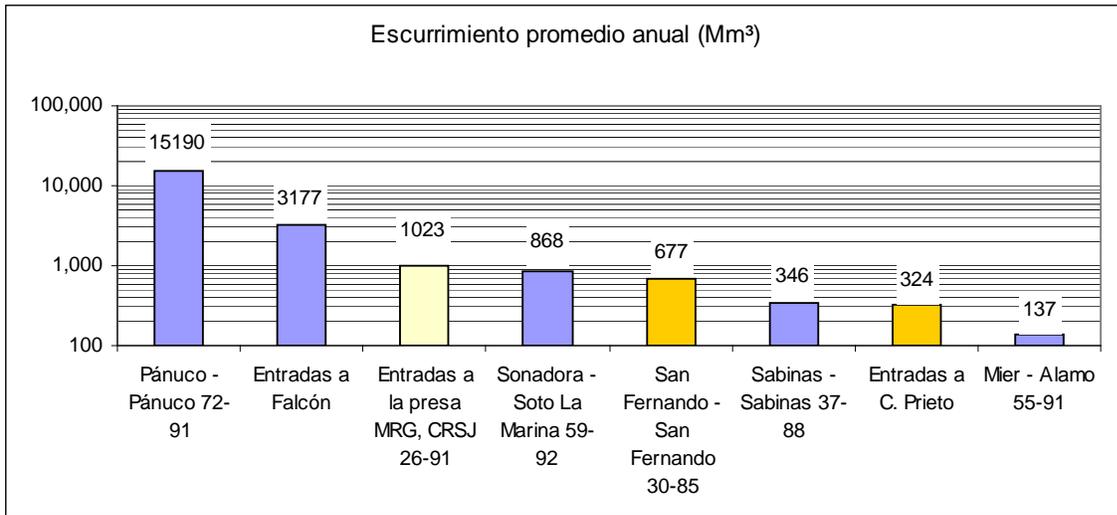
Los ríos más caudalosos de las cuencas vecinas, son: el Bravo, el Salado, el San Fernando, el Soto La Marina y el Pánuco. Los ríos Alamo, Sabinas y Pablillo registran frecuentes gastos nulos durante los meses de estiaje; sus hidrogramas promedio mensuales se muestran con escala logarítmica en la Figura III. 13.

Figura III. 13. Ecurrimiento promedio mensual en estaciones hidrométricas de cuencas vecinas



La Figura III. 14, compara el escurrimiento promedio anual de las principales corrientes.

Figura III. 14. Esgurrimento promedio anual en estaciones hidrométricas locales y circundantes



La localización de las principales estaciones hidrométricas se presenta en las figuras III. 15 y 16.

Figura III. 15. Localización de estaciones hidrométricas ubicadas al Sureste de la CRSJ

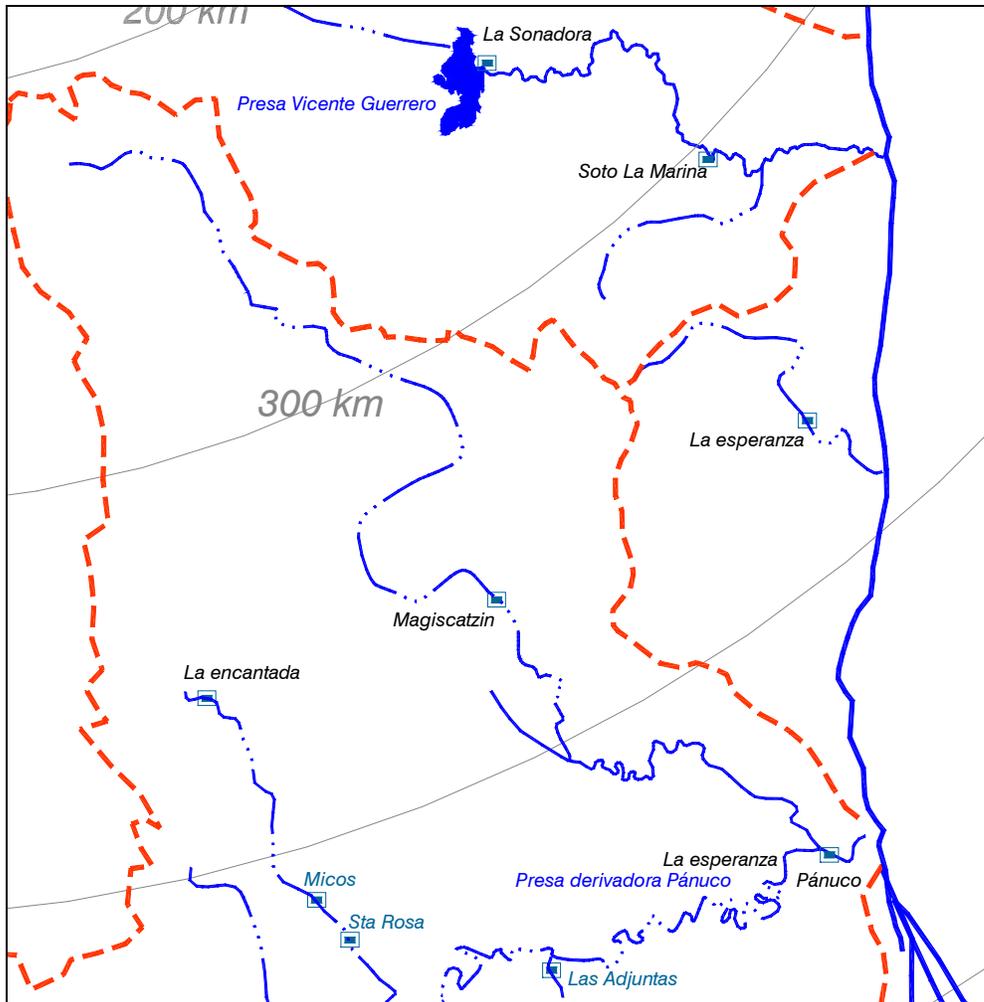
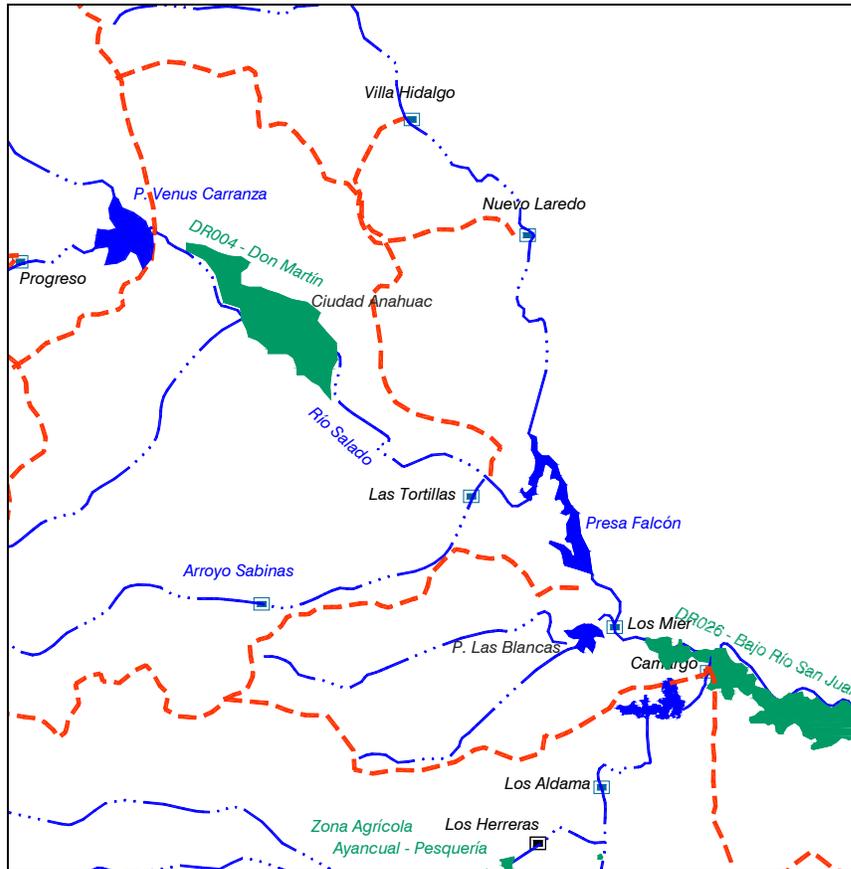


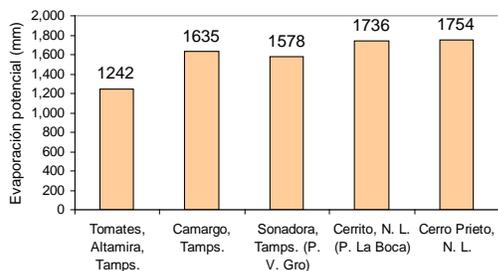
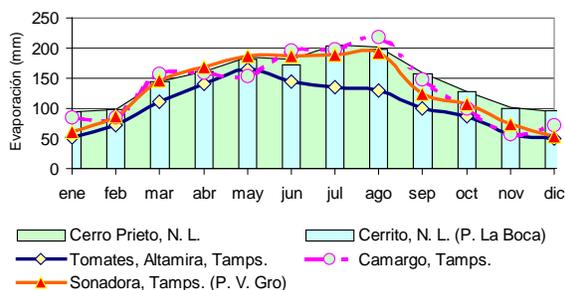
Figura III. 16. Estaciones hidrométricas al Noroeste de la CRSJ



III.1.3.3. Evaporación.

La evaporación potencial en la cuenca del río San Juan, es en general mayor a los 1600 mm anuales, con su valor máximo en el mes de agosto y el mínimo en el mes de diciembre. En la cuenca del río Soto La Marina es ligeramente menor, mientras en las cercanías de la desembocadura del río Pánuco, resultan 30% inferiores a las de la Cuenca del Río San Juan.

Figura III. 17. Evaporación potencial promedio mensual en cinco estaciones climatológicas



La evaporación (Figura III. 17) únicamente se analizó en los sitios en que hay presas y se consideró su influencia según su promedio mensual.

III.1.3.4. Acuíferos

Además de la disponibilidad de agua superficial, dentro de la cuenca existen varios acuíferos de los que se extraen anualmente más de 492 Mm³. En los tres acuíferos sobreexplotados⁵ se padece un déficit anual conjunto superior a 48 Mm³ mientras que seis, se presenta un volumen remanente de 1 Mm³.

Cuadro III. 2. Balance de aguas subterránea de los acuíferos de la Subregión San Juan⁶

Estado	Clave	Acuífero	Área (km ²)	Balance (Mm ³)			Usos (Mm ³ / año)						
				Recarga	Extracción	Balance	Aprov.	Agrícola	Público	Doméstico	Industrial	Total	Otros usos
Coahuila	24 - 26	Cañón del derramadero	1100	11.00	22.76	-11.76	270	12.73	8.26	0.50	1.27	22.76	0.00
	24 - 27	Paredón	2940	10.00	13.50	-3.50	310	11.00	1.80	0.70	0.00	13.50	0.00
	24 - 28	Saltillo - Ramos Arizpe	1370	50.00	67.40	-17.40	585	12.20	45.10	0.00	10.10	67.40	0.00
	24 - 29	Zona Manzanera - Zapalinamé	1000	51.70	66.92	-15.22	657	65.65	0.00	1.27	0.00	66.92	0.00
	35 - 7	El Hundido (10%)	172	2.00	1.00	1.00	4.4	0.80	0.12	0.08	0.00	1.00	0.00
Nuevo León	24 - 30	Área Metropolitana de Monterrey	1140	60.00	60.00	0.00	1667	0.50	13.00	6.50	18.00	38.00	22.00
	24 - 31	Buenos Aires	430	68.00	68.00	0.00	24	0.00	68.00	0.00	0.00	68.00	0.00
	24 - 32	Mina	110	19.00	19.00	0.00	29	0.00	19.00	0.00	0.00	19.00	0.00
	24 - 33	El Durazno	10	5.00	5.00	0.00	12	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	0.00
	24 - 34	Topo Chico	15	3.00	3.00	0.00	5	0.00	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00
	24 - 35	Cañón El Huajuco	200	2.00	2.00	0.00	864	0.00	1.00	1.00	0.00	2.00	0.00
	24 - 36	Zona Citrícola Norte	4450	154.00	154.00	0.00	742	106.00	8.00	4.00	2.00	120.00	34.00
	24 - 37	China - General Bravo	9340	10.00	10.00	0.00	80	1.00	1.00	5.00	0.00	7.00	3.00
Subtotal Subregión 24 - F. San Juan			22277	445.70	492.58	-46.88	5249.4	209.88	168.28	19.05	36.37	433.58	59.00
Nuevo León	25 - 01	Zona Citrícola Sur	s / d	74.00	28.00	46.00	415	19.00	5.00	3.00	1.00	28.00	0.00
Coahuila	24 - 25	Saltillo Sur	8240	130.00	21.80	108.20	128	11.48	9.84	0.48	0.00	21.80	0.00
Subtotal Subregión 25 - A. San Fernando			8240	204.00	49.80	154.20	543	30.48	14.84	3.48	1.00	49.80	0.00
Total Subregión San Juan			30517	649.70	542.38	107.32	5792.4	240.36	183.12	22.53	37.37	483.38	59.00
			24 F	Sobreexplotación: -47.88									
				Disponibilidad: 1.00									
			25 A	Sobreexplotación: 0.00									
				Disponibilidad: 154.20									

Su rendimiento⁷ depende especialmente de los tres tipos de formación geohidrológica.

⁵ Sobreexplotación. Por lo común, esta condición significa que la extracción anual excede a la recarga promedio.

⁶ Fuente: CNA, Gerencia Regional, Lineamientos Estratégicos para el desarrollo de las Cuencas Hidrológicas de la Región VI, Río Bravo, 1998

⁷ Capacidad de ser drenado. En este caso es proporcional al caudal de extracción en cada captación.

Cuadro III. 3. Rendimiento y profundidad al nivel estático en los acuíferos, según su porosidad

Medio poroso	Rendimiento (l/s)	Profundidad al nivel estático
Rocas carbonatadas	5-3000	0-350
Rellenos	1-90	5-60
Rocas Areno - Arcillosas	1-50	10-30

Entre los acuíferos de rocas carbonatadas se identifica el acuífero de la ZMM, donde la profundidad al nivel estático varía desde 10 m, hasta 70 m de profundidad con un espesor saturado que fluctúa desde 10 m hasta 30 m⁸. Este cuerpo de agua, constituye la principal fuente de abastecimiento para la industria regional.

A continuación, las figuras III. 18, III. 19 y III. 20, muestran la localización de los acuíferos y su condición de aprovechamiento, relacionada respectivamente con: a) el límite de la CRSJ y los cálculos preliminares obtenidos por la Gerencia de Aguas Subterráneas en 1997; b) Las mayores localidades de la subregión San Juan y c) Los centros de demanda agrícola. Para los últimos dos casos se relaciona con los cálculos obtenidos en 1998 por la Gerencia Regional Río Bravo.

⁸ Dicho acuífero presenta problemas operativos debido a que durante los prolongados periodos de estiaje se originan grandes abatimientos y variaciones en la carga de bombeo de los pozos.

Figura III. 18. Acuíferos de la Cuenca del Río San Juan y condición de aprovechamiento

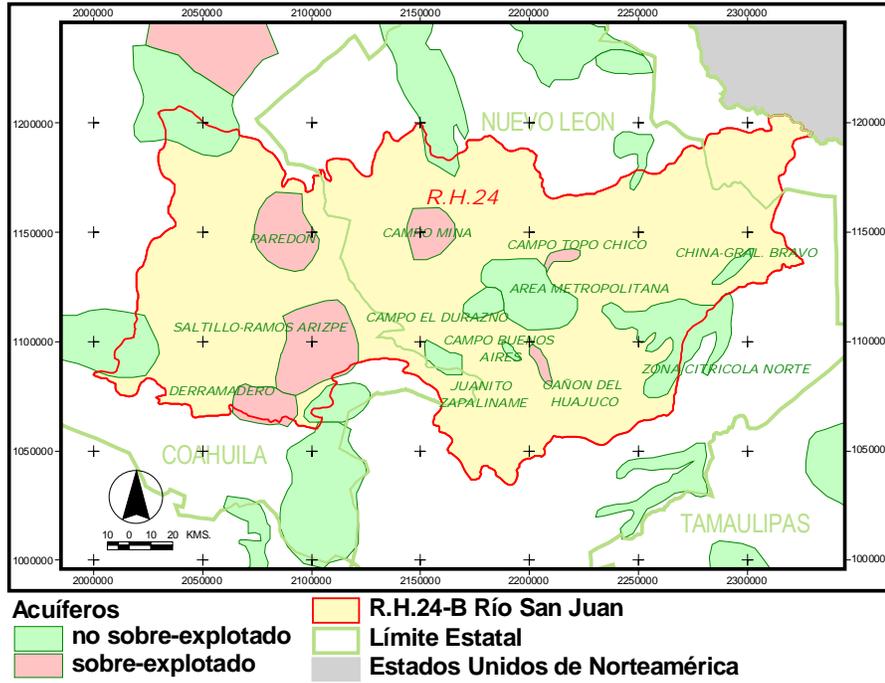
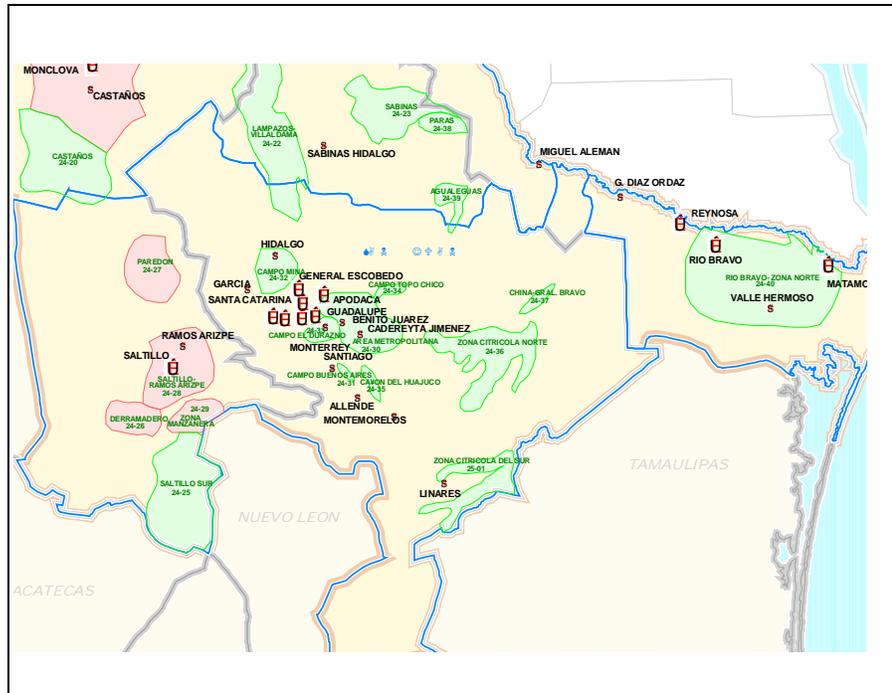


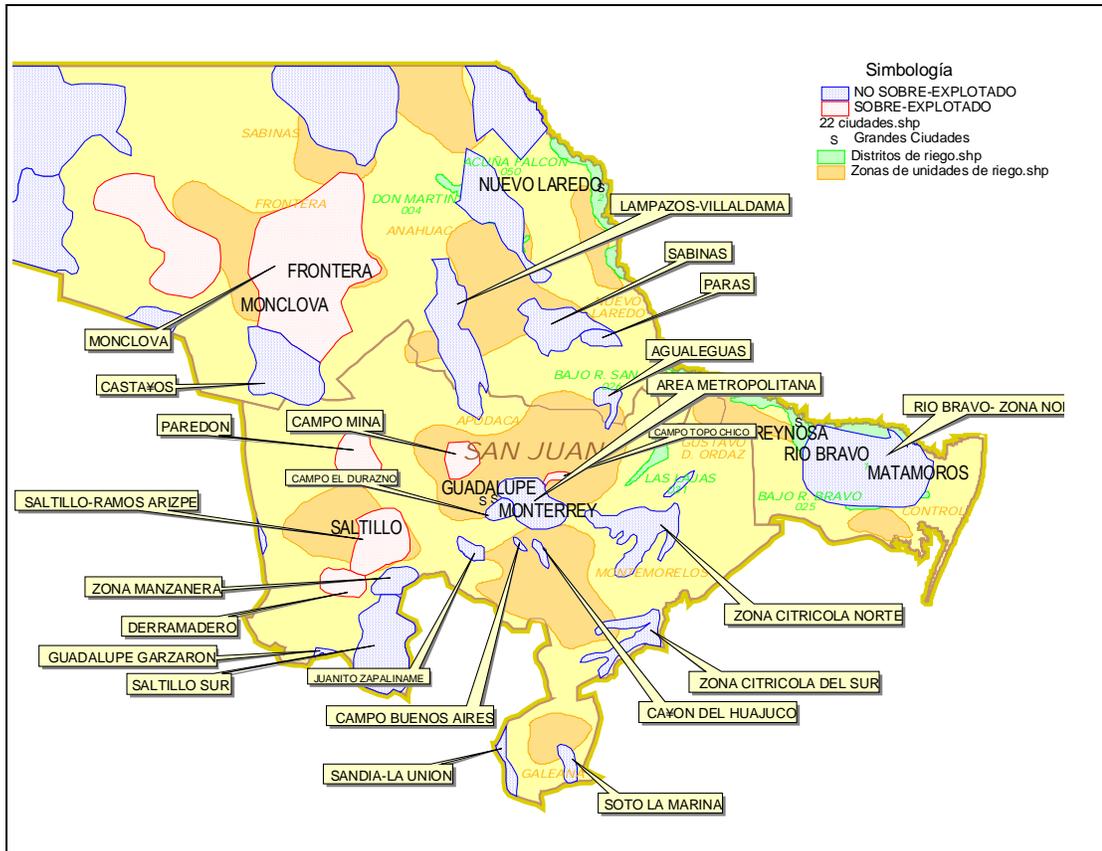
Figura III. 19. Acuíferos de la Subregión San Juan y principales ciudades



Destaca la situación de la Ciudad de Saltillo y su zona conurbada, rodeada de acuíferos sobreexplotados. En esta ciudad residen más de 500,000 habitantes y al considerar que se encuentra rodeada por ríos efímeros, esta ciudad depende totalmente del agua subterránea. Esto

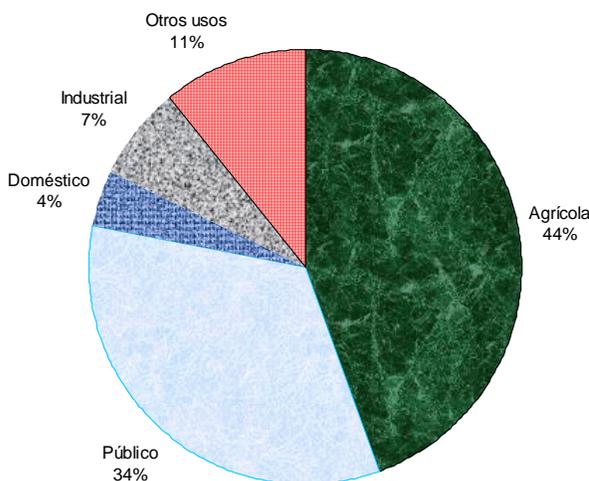
constituye un aspecto de emergencia, en una zona donde el uso principal del agua subterránea, es para riego agrícola.

Figura III. 20. Acuíferos de la Subregión San Juan, de sus aledaños y zonas agrícolas



La sobreexplotación de los acuíferos por la agricultura, ocurre en aquellas descripción de riego en que el escurrimiento descripción es efímero, descripción en la Cuenca del arroyo Salinas.

Figura III. 21. Descripción del uso del agua subterránea en la Subregión San Juan



Se observa que el mayor uso del agua subterránea, corresponde a la agricultura y en segundo término, a los usos público – urbano y doméstico.

Al analizar los acuíferos por separado (Figura III. 22), se observa que los acuíferos: Buenos Aires, Saltillo – Ramos Arizpe, Mina y Topochico, presentan un uso preponderante para fines público – urbanos. El acuífero del Durazno, se destina en su totalidad a fines industriales; en el resto de los acuíferos, predomina el uso agrícola, con un volumen de magnitud máxima en el acuífero de la Zona Citrícola Norte.

Figura III. 22. Usos de agua por acuífero en la

Subregión San Juan

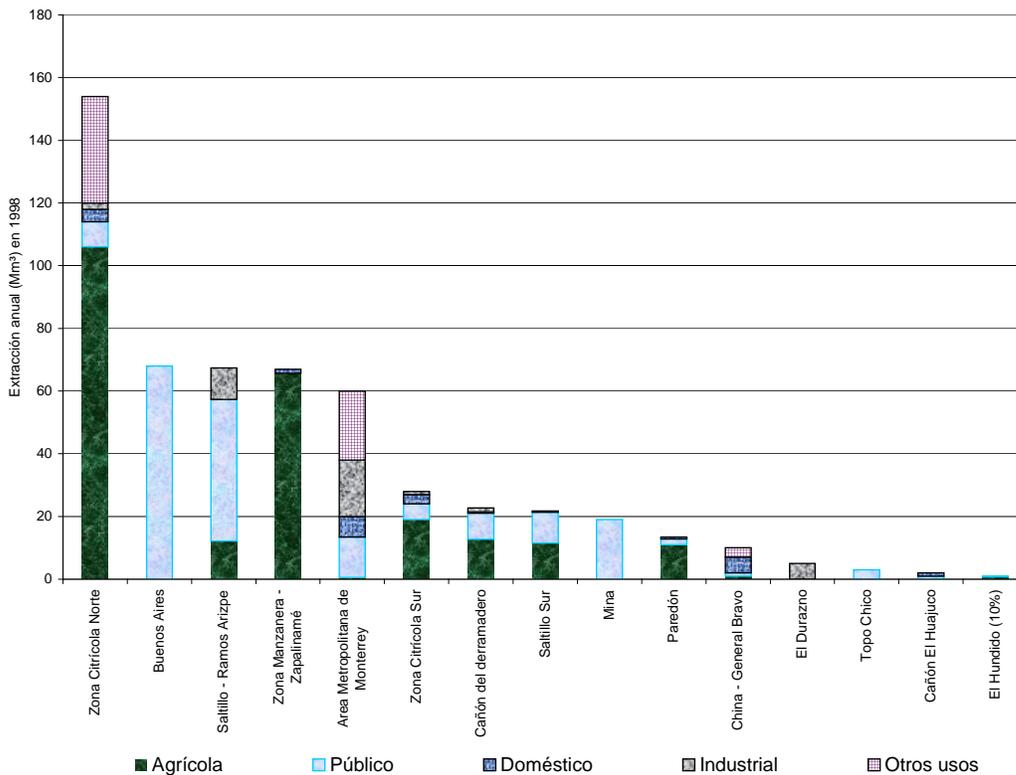
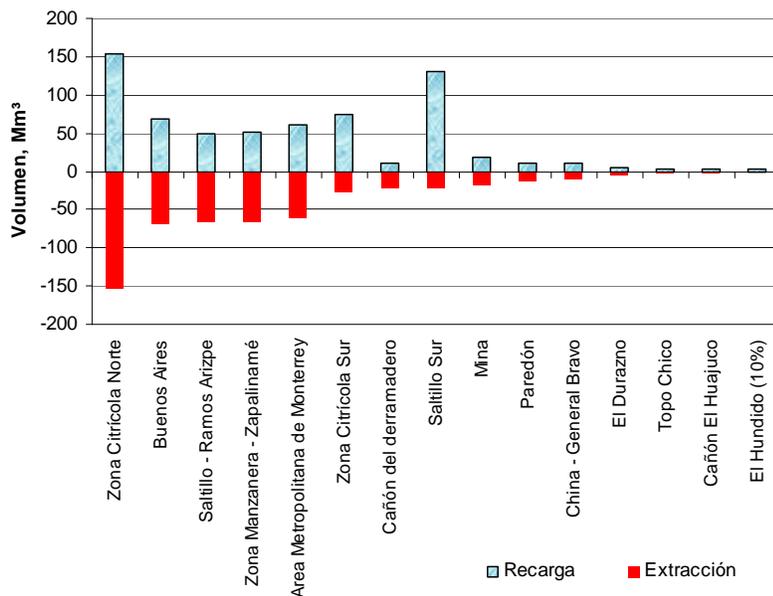
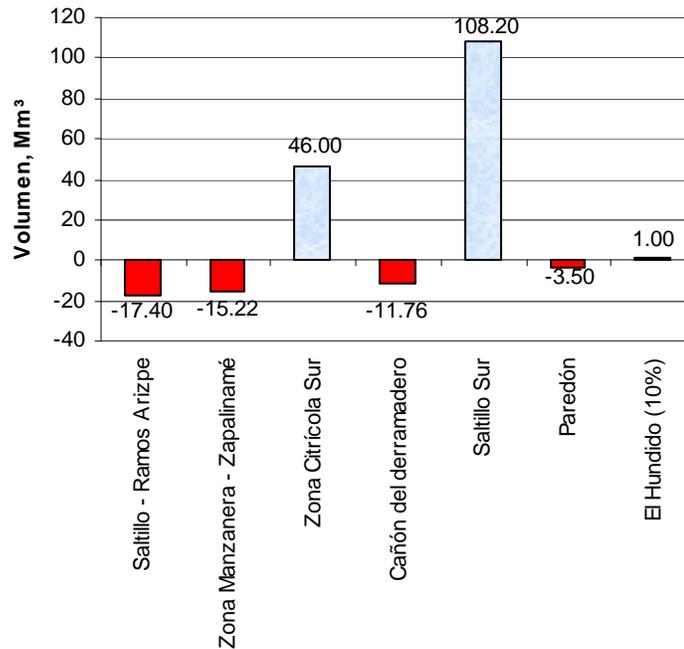


Figura III. 23. Representación gráfica de la recarga y la extracción anual por acuífero, 1998



De los acuíferos descritos, únicamente cinco presentan ya sea una franca disponibilidad, o un estado de sobreexplotación. La disponibilidad destaca en la Zona Citrícola Sur y en el acuífero Saltillo Sur.

Figura III. 24. Balance de agua subterránea en acuíferos que no se encuentran en equilibrio⁹



Se aprecia la importancia de los mayores acuíferos, que representan una indispensable fuente local de abastecimiento para las ciudades de Saltillo y Monterrey.

Cuadro III. 4. Descripción general de los acuíferos de la Subregión San Juan

Fin de las extracciones (Mm³)			
Agricultura	Público - Urbano	Doméstico	Industrial
209	168.3	19.1	36.4

Condición de aprovechamiento		
Subexplotados	Equilibrio	Sobreexplotados
12	0	3

Calidad del agua subterránea:	En general "aceptable".
-------------------------------	-------------------------

Acuíferos	Con información	Sin información
15	12	3

Número de aprovechamientos	5294
----------------------------	------

Únicamente tres de los quince acuíferos de la subregión, padece de sobreexplotación. Esto no implica una disponibilidad holgada de agua subterránea, pues debido a las propiedades geohidrológicas y geométricas de varios de éstos acuíferos, la sobreexplotación no es posible, debido a que antes de su ocurrencia se presentan problemas operativos.

Tres acuíferos carecen de estudios geohidrológicos. El número identificado de aprovechamientos de agua subterránea, en 1995 ascendía a más de 5,294¹⁰.

III.2. USOS DEL AGUA

Dentro de la cuenca del río San Juan, el uso público urbano así como el industrial se encuentran principalmente en la Zona Metropolitana de Monterrey y en la Ciudad de Saltillo.

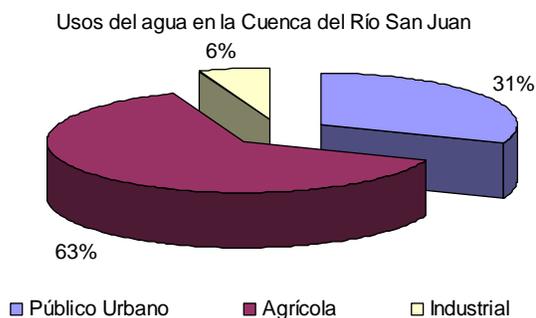
⁹ Resta señalar que el acuífero de Paredón se encuentra sobreexplotado en 3.5 Mm³, ante una recarga anual promedio de 10 Mm³ y una extracción de 13.5 Mm³.

¹⁰ Fuente: Programa Hidráulico Regional Río Bravo. Noviembre, 2000.

La agricultura de riego se concentra en los Distritos de riego, 031, Las Lajas – 2,677 ha – y 026, Bajo San Juan – 73,123 ha – y en Montemorelos – 9,000 ha –.

Debido a la naturaleza efímera de los ríos, en la mayoría de las zonas agrícolas ubicadas en la subcuenca del río Pesquería se siembran cultivos de temporal, con excepción de las ubicadas en las márgenes de los ríos Ayancual y Pesquería – 10,000 ha –, que dependen del agua residual que Monterrey descarga en dichas corrientes.

Figura III. 25. Proporción de aprovechamiento del agua en sus tres principales usos, 1995



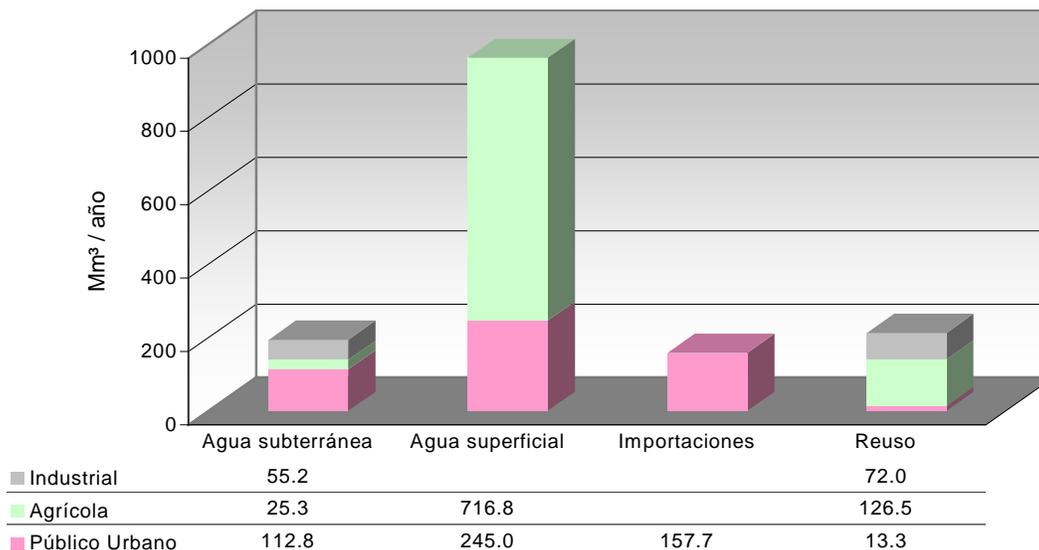
En el año de 1999 la ciudad de Monterrey generaba al año, cerca de 196 Mm³ de aguas residuales, de los cuales el reuso se distribuía según se describe a continuación:

Cuadro III. 5. Reuso del agua en la

ZMM (Mm³/año).

Uso	Industrial	Áreas Verdes	Agrícola	Saneamiento
Industrial	72	2.8	0	0.095
Municipal	0	2.36	4.44	3.61
Total	72	5.16	4.44	3.7

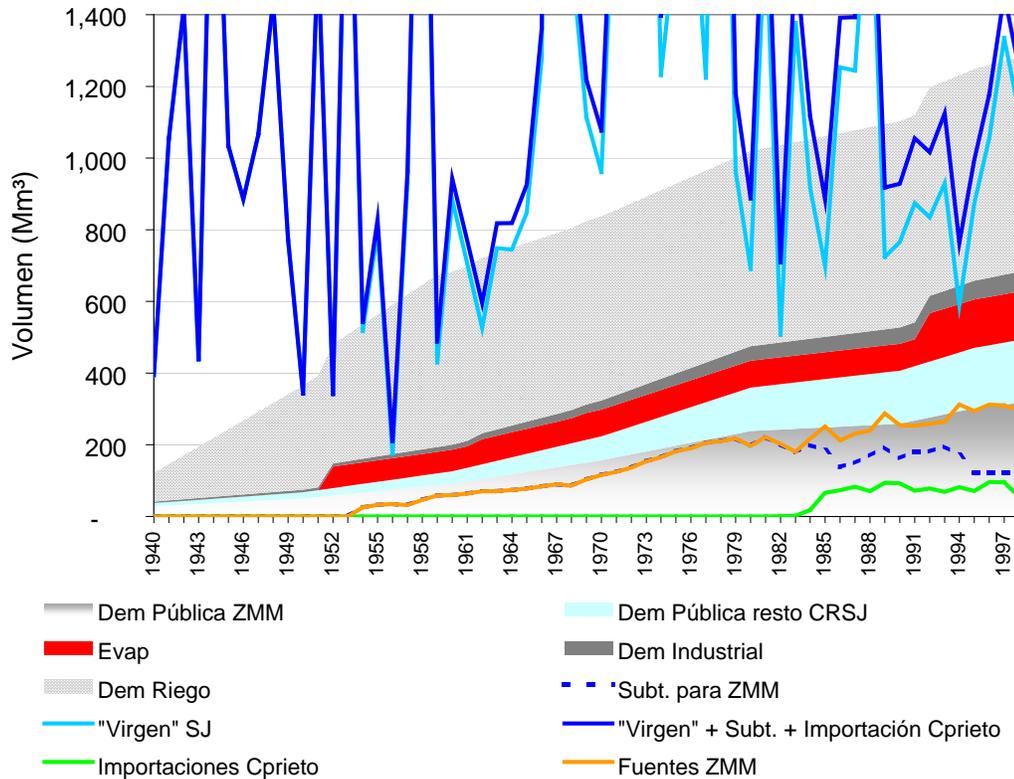
Figura III. 26. Fuentes de abastecimiento Vs. usos del agua en la cuenca del río San Juan, 1995



Se observa la preponderancia del uso del agua superficial, sobre otras fuentes, mientras que el uso agrícola demanda los mayores volúmenes.

Tal como se ha descrito previamente, la evolución de la demanda para uso público presenta un ritmo de crecimiento mucho mayor que cualquier otro.

Figura III. 27. Evolución de la demanda de agua para distintos usos y disponibilidad de agua



En la figura anterior se presenta en forma clara el origen del déficit de agua en la CRSJ, debido principalmente a un crecimiento de la demanda, representada mediante áreas apiladas, que excede a la disponibilidad de agua de las fuentes de abastecimiento (representada mediante líneas azules).

En las presas El Cuchillo y Marte R. Gómez, el agua se usa para fines recreativos, como son la pesca y la navegación particular.

III.2.1. Uso público y urbano

III.2.1.1. Población

La población de la CRSJ en el año 2,000 fue aproximadamente de 4.2 millones de habitantes, de los cuales, más del 70% residía en nueve municipios que conforman la Zona Metropolitana de Monterrey; el 14 % en el municipio de Saltillo y el 16% restante, en 30 municipios. La Cuenca involucra un total de 37 municipios.

Figura III. 28. Municipios de la Subregión San Juan



Figura III. 29. Principales Ciudades de la Subregión San Juan



Figura III. 30. Distribución de municipios, según su Estado y su cuenca hidrológica

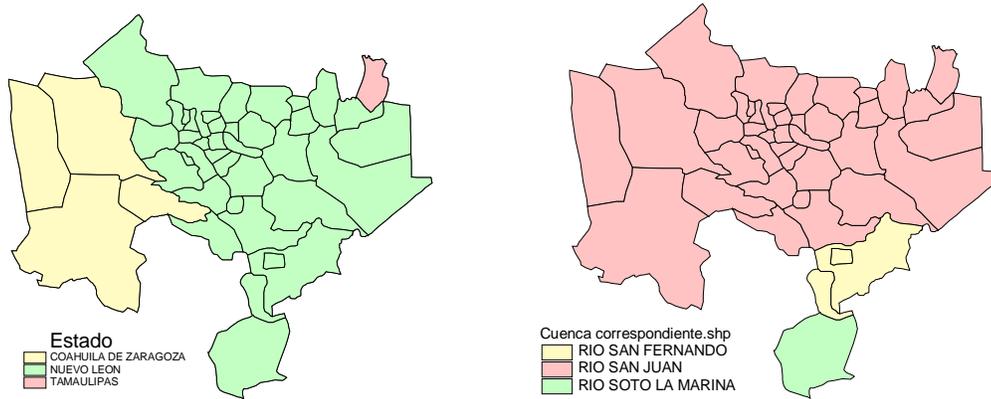
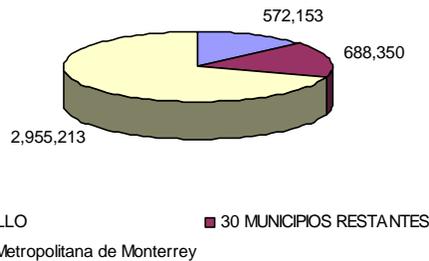
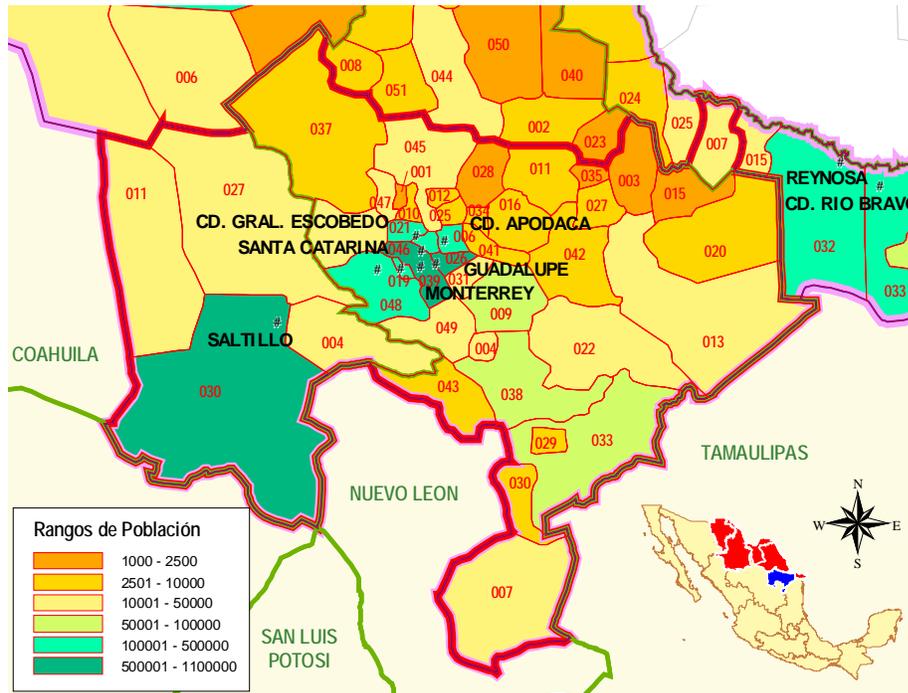


Figura III. 31. Distribución de la población de la Cuenca del Río San Juan



De la subregión San Juan, únicamente cuatro municipios se encuentran en Coahuila, mientras que uno está en Tamaulipas y 34 dentro de Nuevo León.

Figura III. 32. Rangos de población en los municipios de la Subregión Administrativa San Juan



Desde 1950 hasta el año 2000, la población se multiplicó casi ocho veces, al pasar de 511 mil habitantes a 4.2 millones. Este incremento genera una demanda de agua para uso público urbano, que incide radicalmente en el balance hidráulico de la Cuenca.

La población de la CRSJ resulta al menos cuatro veces mayor que la de cualquiera de sus cuencas vecinas. La insuficiencia de agua ha determinado la necesidad de analizar y realizar proyectos de importación de agua a la Zona Metropolitana de Monterrey, desde las posibles cuencas donadoras, de los ríos: Soto La Marina, Tamesi, San Fernando, Salado, Bravo y Alamo.

Figura III. 33. Distribución porcentual de la población en la zona de estudio en 1995

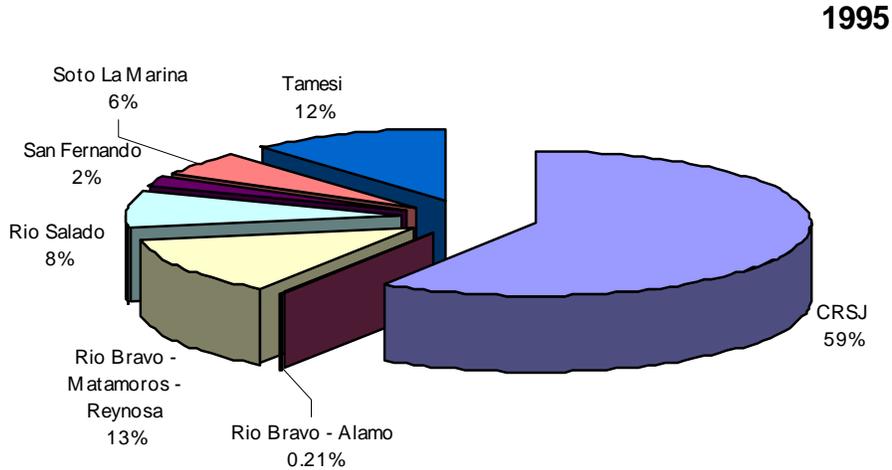
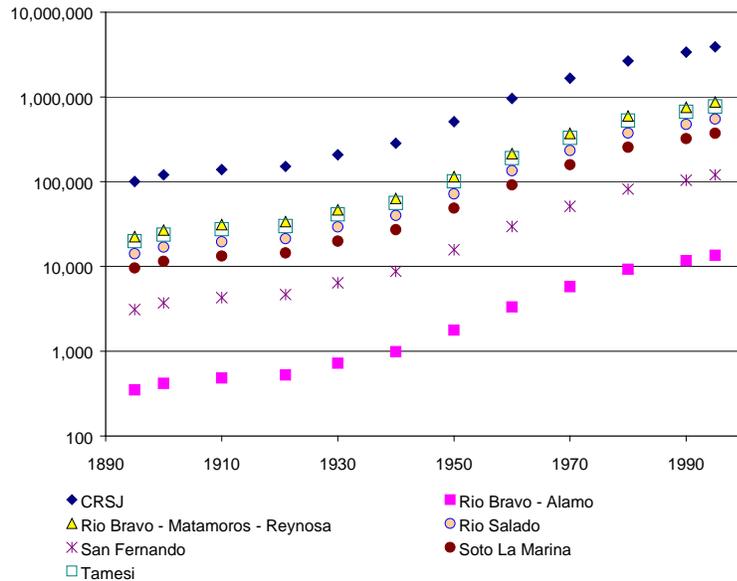
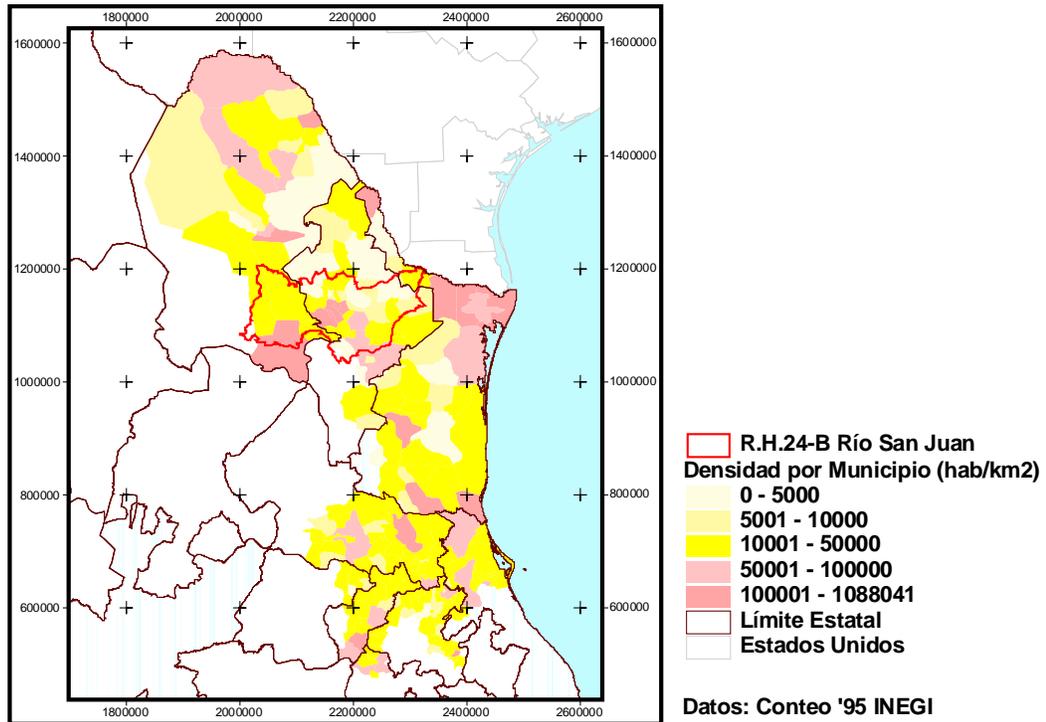


Figura III. 34. Proyección demográfica según censos durante el período 1895 - 1995¹¹



¹¹ Las proyecciones demográficas municipales se presentan en el Anexo A.

Figura III. 35. Densidad de población municipal en la zona de estudio



La figura III. 34 muestra como el orden de magnitud de la población de la CRSJ, es al menos cuatro veces mayor que el de las cuencas hidrológicas vecinas.

Al clasificar las localidades según su número de habitantes, se dispone de tres rangos: Rural, de hasta 2,500 habitantes; mediana, de hasta 50,000 habitantes y Grande, de más de 50,000 habitantes.

Cuadro III. 6. Tipos de población y distribución de los habitantes en las mismas

Estado	Superficie administrativa km²	Número de municipios	Tipos de poblaciones							
			Tipo de poblaciones				Población			
			Grande	Mediana	Rural	Total	Grande	Mediana	Rural	Total
Coahuila	17,480	4	1	3	1,095	1,099	510.1	36	49.7	595
Nuevo León	34,625	38	7	26	4,243	4,276	2903.3	325	156.3	3,385
Tamaulipas	840	1		1	172	173		8	7.3	15
Total	52,945	43	8	30	5,510	5,548	3413.4	368.8	213	3,996

Rural: hasta 2,500 habitantes
Mediana: de 2,500 a 50,000
Grande: más de 50,000 habitantes

El 47% de la población de la Región VI, se encuentra en la Subregión San Juan. En el año 2020 tiende a ser el 49%.

A partir de esta clasificación, resulta que en la subregión San Juan, ocho grandes localidades, de las cuales siete conforman parte de la Zona Metropolitana de Monterrey y una, la Ciudad de Saltillo.

Cuadro III. 7. Proyección de población en los municipios y en las principales ciudades¹²

CLV SUBREG. HIDR.	ESTADO	CLAVE MPIO	MUNICIPIO	POBLACION							
				1995	2000	2005	2010	2015	2020		
24-F RIO SAN JUAN	COAHUILA	05004	ARTEGA	18,907.0	20,488.9	22,080.6	23,600.2	25,122.6	26,743.3		
		05011	GENERAL CEPEDA	11,913.0	12,909.7	13,912.7	14,870.1	15,829.4	16,850.5		
		05027	RAMOS ARIZPE	36,440.0	39,488.8	42,556.6	45,485.3	48,419.6	51,543.1		
		05030	SALTILLO	527,979.0	572,153.4	616,602.9	659,036.8	701,551.2	746,808.3		
				595,239.0	645,040.9	695,152.9	742,992.4	790,922.9	841,945.3		
	NUEVO LEON	19001	ABASOLO	1,945.0	2,099.9	2,250.8	2,388.5	2,523.2	2,665.4		
		19003	ALDAMAS, LOS	2,445.0	2,639.7	2,829.4	3,002.5	3,171.8	3,350.6		
		19004	ALLENDE	23,053.0	24,888.9	26,677.0	28,309.9	29,905.8	31,591.6		
		19006	APODACA	219,153.0	236,606.2	253,604.2	269,127.8	284,298.7	300,324.7		
		19009	CADEREYTA JIMENEZ	62,440.0	67,412.7	72,255.7	76,678.6	81,001.0	85,567.0		
		19010	CARMEN	6,168.0	6,659.2	7,137.6	7,574.5	8,001.5	8,452.6		
		19011	CERRALVO	8,287.0	8,947.0	9,589.7	10,176.7	10,750.4	11,356.4		
		19012	CIENEGA DE FLORES	8,586.0	9,269.8	9,935.7	10,543.9	11,138.3	11,766.2		
		19013	CHINA	12,064.0	13,024.8	13,960.5	14,815.0	15,650.2	16,532.4		
		19015	DOCTOR COSS	2,286.0	2,468.1	2,645.4	2,807.3	2,965.5	3,132.7		
		19016	DOCTOR GONZALEZ	2,912.0	3,143.9	3,369.8	3,576.0	3,777.6	3,990.6		
		19018	GARCIA	23,981.0	25,890.8	27,750.9	29,449.5	31,109.6	32,863.3		
		19019	SAN PEDRO GARZA GARCIA	120,913.0	130,542.4	139,920.7	148,485.6	156,855.7	165,697.8		
		19020	GENERAL BRAVO	6,030.0	6,510.2	6,977.9	7,405.1	7,822.5	8,263.4		
		19022	GENERAL TERAN	16,609.0	17,931.7	19,220.0	20,396.5	21,546.2	22,760.8		
		19025	GENERAL ZUAZUA	5,276.0	5,696.2	6,105.4	6,479.1	6,844.4	7,230.2		
		19026	GUADALUPE	618,933.0	668,224.5	716,230.3	760,072.2	802,917.8	848,178.5		
		19027	HERRERAS, LOS	2,860.0	3,087.8	3,309.6	3,512.2	3,710.2	3,919.3		
		19028	HIGUERAS	1,218.0	1,315.0	1,409.5	1,495.7	1,580.1	1,669.1		
		19031	JUAREZ	50,009.0	53,991.7	57,870.5	61,412.9	64,874.7	68,531.7		
		19034	MARIN	4,014.0	4,333.7	4,645.0	4,929.3	5,207.2	5,500.7		
		19035	MELCHOR OCAMPO	1,121.0	1,210.3	1,297.2	1,376.6	1,454.2	1,536.2		
		19037	MINA	4,783.0	5,163.9	5,534.9	5,873.7	6,204.8	6,554.6		
		19038	MONTEMORELOS	51,714.0	55,832.5	59,843.5	63,506.7	67,086.6	70,868.3		
		19039	MONTERREY	1,088,143.0	1,174,802.1	1,259,200.8	1,336,279.1	1,411,605.7	1,491,178.4		
		19041	PESQUERIA	9,359.0	10,104.3	10,830.2	11,493.2	12,141.1	12,825.5		
		19042	RAMONES, LOS	5,236.0	5,653.0	6,059.1	6,430.0	6,792.5	7,175.4		
		19043	RAYONES	2,791.0	3,013.3	3,229.7	3,427.4	3,620.7	3,824.8		
		19045	SALINAS VICTORIA	15,925.0	17,193.3	18,428.4	19,556.5	20,658.9	21,823.4		
		19046	SAN NICOLAS DE LOS GARZA	487,924.0	526,782.0	564,626.4	599,188.4	632,964.9	668,645.3		
		19047	HIDALGO	13,552.0	14,631.3	15,682.4	16,642.3	17,580.5	18,571.5		
		19048	SANTA CATARINA	202,156.0	218,255.6	233,935.3	248,254.9	262,249.1	277,032.2		
		19049	SANTIAGO	34,187.0	36,909.6	39,561.3	41,982.9	44,349.5	46,849.5		
		19021	GENERAL ESCOBEDO	176,869.0	190,954.8	204,673.1	217,201.6	229,445.3	242,379.2		
					3,292,942.0	3,555,190.1	3,810,597.8	4,043,852.4	4,271,805.9	4,512,609.2	
		25 A. SAN FERNANDO	19030	ITURBIDE	3,522.0	3,802.5	4,075.7	4,325.1	4,569.0	4,826.5	
			19033	LINARES	66,104.0	71,368.5	76,495.7	81,178.1	85,754.2	90,588.1	
			19029	HUALAHUISES	6,535.0	7,055.4	7,562.3	8,025.2	8,477.6	8,955.5	
					76,161.0	82,226.4	88,133.6	93,528.5	98,800.7	104,370.1	
		25 B. SOTO LA MARINA	19007	ARAMBERRI	15,691.0	16,940.6	18,157.7	19,269.1	20,355.3	21,502.8	
					15,691.0	16,940.6	18,157.7	19,269.1	20,355.3	21,502.8	
					T O T A L	3,980,033.0	4,299,398.0	4,612,042.0	4,899,642.4	5,181,884.8	5,480,427.4

GRANDES CIUDADES 8 LOCALIDADES	SALTILLO, COAH.	510.1	565.4	615.6	661.1	697.6	730.6
	APODACA, N. L.	212.1	313.2	443.3	600.5	733.2	856.6
	SN PEDRO GARZA G. N. L.	120.9	124.6	123.2	121.9	121.0	120.4
	GENERAL ESCOBEDO, N. L.	174.5	260.6	373.5	511.3	630.0	739.5
	GUADALUPE, N. L.	618.6	657.8	670.3	649.8	638.3	630.3
	MONTERREY, N. L.	1,088.0	1,093.5	1,082.5	1,074.4	1,069.0	1,066.3
	SAN NICOLAS DE LOS G. N. L.	487.9	517.6	526.2	509.2	500.4	496.3
	SANTA CATARINA, N. L.	201.2	242.8	284.1	320.8	365.3	392.9
	8 GRANDES CIUDADES RSJ	3,413.3	3,775.5	4,118.7	4,449.0	4,754.8	5,032.9
	TOTAL RSJ (30 LOCALIDADES)	368.7	426.0	483.0	535.9	588.7	644.1
REGIONAL	URBANO MEDIO BRAVO (100 LOCALIDADES)	213.3	234.2	255.0	276.9	295.5	320.5
	RURAL BRAVO (19,621 LOCALIDADES)	3,995.3	4,435.7	4,856.7	5,261.8	5,639.0	5,997.5
	TOTAL BRAVO (19,742 LOCALIDADES)	6,729.4	7,451.2	8,119.2	8,744.4	9,297.3	9,826.5
REGIONAL SIN RSJ	GRANDES CIUDADES BRAVO SIN RSJ (13 LOCALIDADES)	1,107.4	1,207.5	1,295.8	1,370.4	1,441.1	1,512.4
	URBANO MEDIO BRAVO SIN RSJ (70 LOCALIDADES)	744.1	791.9	833.7	871.9	907.3	942.0
	RURAL BRAVO SIN RSJ (14,111 LOCALIDADES)	3,316.1	3,675.7	4,000.5	4,295.4	4,542.5	4,793.6
	TOTAL BRAVO SIN RSJ (14,206 LOCALIDADES)	738.7	781.5	812.8	834.5	852.4	868.3
		530.8	557.7	578.7	595.0	611.8	621.5
		4,585.6	5,014.9	5,392.0	5,724.9	6,006.7	6,283.4

¹² Ref. PHRVI, CNA, 2000.

III.2.1.2. Situación del suministro de agua potable en la CRSJ

De acuerdo con la referencia 12, la dotación promedio en los municipios de la CRSJ, es de 213 l / h / d; sin embargo esta cantidad de agua no sirve a la totalidad de los habitantes, pues en ciertos municipios se presentan bajas coberturas de hasta el 60%.

Figura III. 36. Dotación y coberturas aproximadas en cada municipio de la subregión San Juan

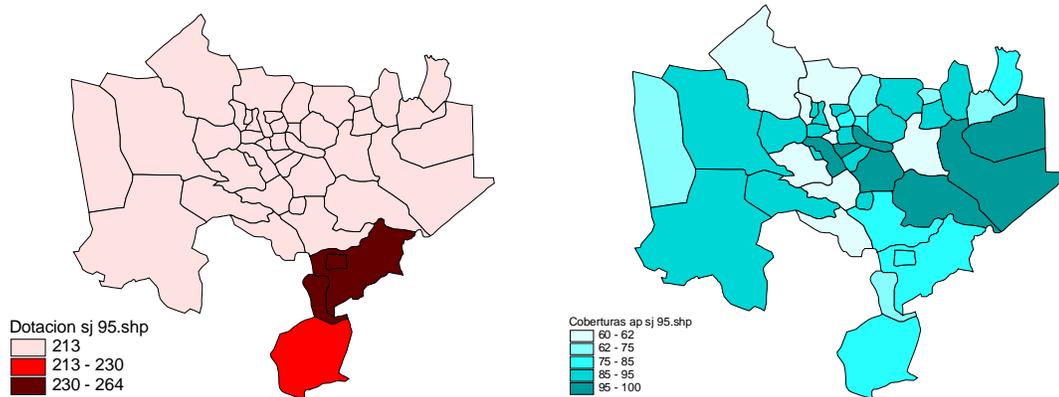
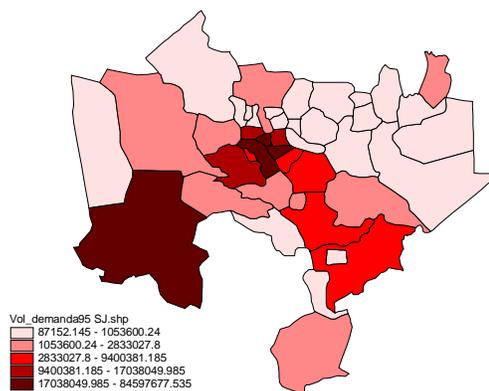


Figura III. 37. Demanda municipal de agua potable y fugas en su suministro en 1995



Con base en la dotación y la población de cada municipio, se observa que los mayores volúmenes de suministro de agua potable, se encuentran en las grandes ciudades.

El siguiente cuadro resume la situación de abastecimiento de las principales ciudades de las subregiones San Juan, Bajo y Medio Bravo.

Cuadro III. 8. Rasgos del suministro de agua potable a las grandes ciudades

Ciudad	Fuentes de abastecimiento		Potabilizadoras	Capacidad l / s	Pérdidas físicas %	Cobertura %
	Superficiales	Subterráneas				
SUBREGIONES MEDIO Y BAJO BRAVO						
Matamoros	Río Bravo		4	2050	33	80
Reynosa	Canal Anzalduas		3	3000	45	90
Nuevo Laredo	Río Bravo		2	1750	38	85
Río Bravo	Canal Anzalduas		1	400	35	90
SUBREGION SAN JUAN						
AMM	Presas La Boca, Cerro Prieto y El Cuchillo	Huasteca (Ac. Buenos Aires), Monterrey (Ac. Area Metrop. Monterrey, Mina (Ac. Mina), Santiago (Ac. Huajuco) y pozos foráneos	2	11866	39	98
Saltillo		46 pozos		1470	50	95

Cuadro III. 9. Servicio de agua potable en ciudades con más de 50,000 habitantes, 1995

Ciudad	Población 1995 (miles)	Población 2020 (miles)	Cobertura %	Consumos l/h/d	Pérdidas físicas %	Dotación l/h/d	Volumen suministro Mm ³ / año
MEDIO Y BAJO BRAVO (FUERA DE LA SUBREGION SAN JUAN)							
Matamoros	324	477	80	258	33	384	49.5
Reynosa	320	483	90	202	45	367	42.9
Nuevo Laredo	274	374	85	310	38	495	49.5
Río Bravo	75	89	90	136	35	210	5.8
Piedras Negras	114	153	98	248	25	330	13.8
SAN JUAN							
Saltillo	510	731	95	147	39	240	44.7
Apodaca	212	857	94	232	50	370	28.6
Garza García	121	120	98	219	39	356	15.7
Gral. Escobedo	174	740	94	224	40	373	23.8
Guadalupe	619	630	98	219	39	356	80.4
Monterrey	1088	1066	98	219	39	356	141.4
San N. de los Garza	488	497	98	219	39	356	63.4
Santa Catarina	201	393	98	219	39	356	26.1

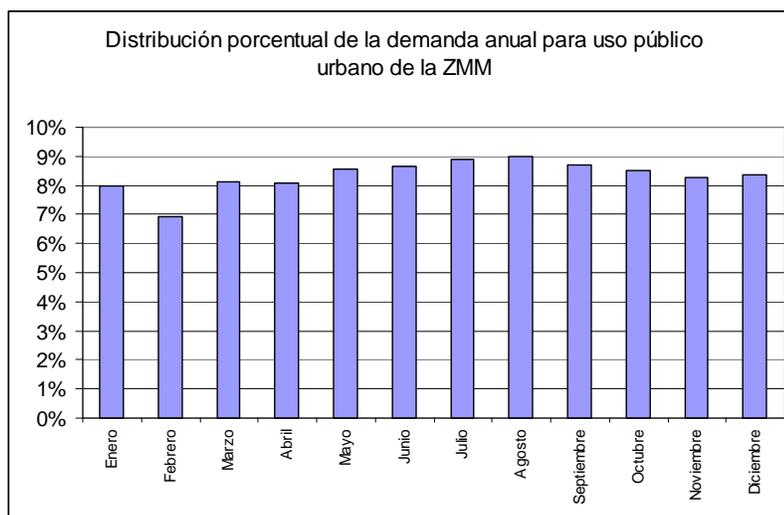
Ante una demanda creciente, se incrementan: el reciclaje, la importación y el reuso del agua. Ya que estas acciones intensifican la utilidad de cada litro de agua, por lo tanto, deben contemplar con mayor cautela los riesgos de escasez por sequías.

El suministro de agua potable a la Zona Metropolitana de Monterrey

En la ZMM, en 1998 se identificaron las siguientes condiciones de aprovechamiento: cobertura de 98%, Dotación de 356 l/h/d, con fugas del 39% (que incluyen tomas clandestinas del 19%) y un consumo real de 217 l/h/d.

Las siguiente gráfica describe la distribución mensual de las extracciones anuales para el uso público – urbano de la ZMM.

Figura III. 38. Distribución porcentual de la demanda anual para la ZMM.



El suministro de agua al Area conurbada de Saltillo y Ramos Arizpe, Coah.

Saltillo aún no aprovecha agua de fuentes externas a la subcuenca en que se encuentra (Alto Río Pesquería); su disponibilidad de agua subterránea y su elevación de 1,600 msnm, harán de la importación de agua una alternativa costosa en las próximas décadas.

En ésta zona se aprovechan tres sistemas acuíferos:

- Cupido o Derramadero,
- Aurora o Saltillo – Ramos y
- Parras o Zona Manzanera Zapalinamé.

En conjunto brindan un gasto promedio de 1.47 m³/s, equivalentes a 46.4 Mm³ anuales.

Debido a la sobreexplotación de los primeros tres acuíferos, se ha reducido la producción en los pozos. Los acuíferos, presentan una recarga promedio anual de 49 Mm³, mientras que la descarga natural es de 10.12 Mm³. De tal modo, el gasto promedio aprovechable en condición de equilibrio es de 38.9 Mm³ / s, equivalente a 1.23 m³/s.

En su aprovechamiento destaca la importancia de usuarios público e industrial.

Evolución de la demanda en las subcuencas de la CRSJ

Resulta de importancia el hecho de que en las vecindades de la CRSJ la población es creciente, lo cual significa que al igual que los habitantes de la CRSJ, en dichas cuencas continuamente se realizan obras para aprovechar el agua de sus fuentes de abastecimiento.

La siguiente gráfica muestra la proyección demográfica calculada para el período 1940 – 1998, en las áreas de captación de las subcuencas propuestas para la discretización de la zona de estudio en la modelación matemática (descrita en el capítulo de metodología y en el Anexo B).

Figura III. 39. Proyección demográfica calculada en las principales subcuencas de la CRSJ.

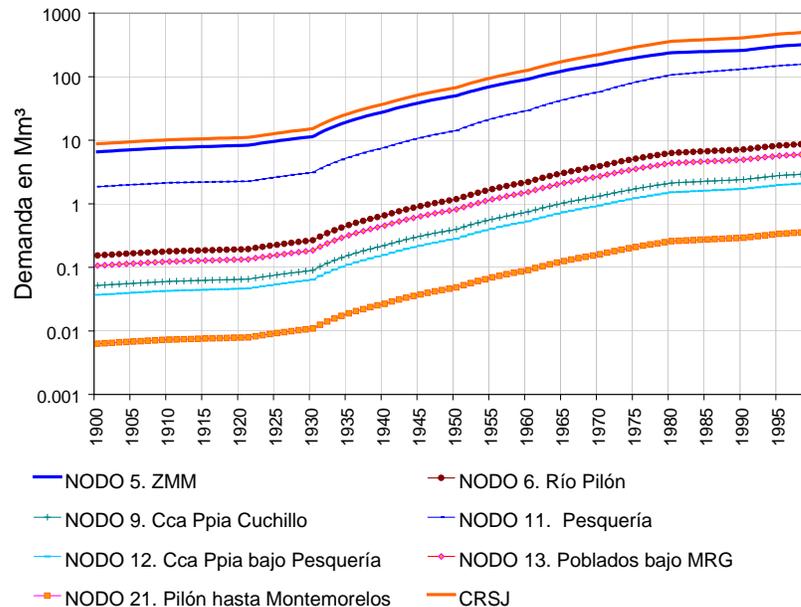
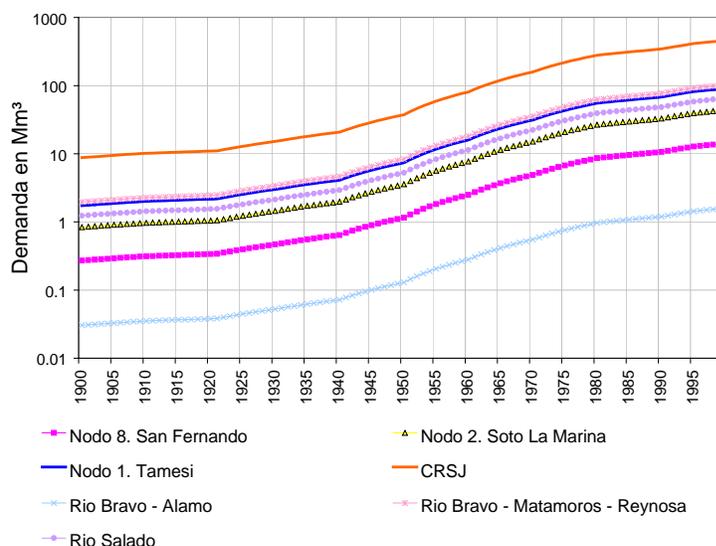


Figura III. 40. Proyección de la demanda en las principales cuencas del área de estudio.



III.2.2. Uso agrícola y pecuario

Los cultivos son de temporal y de riego; éstos últimos se siembran principalmente en dos distritos de riego: Bajo Río San Juan y Las Lajas. En las áreas de captación de los principales afluentes del río San Juan destaca la producción de cítricos, especialmente de naranja (Montemorelos, Linares, Hualahuises, General Terán, Allende, Santiago y Cadereyta). Hay condiciones favorables para la ganadería – ganado caprino, ovino y vacuno -.

A continuación, el cuadro III. 6 muestra algunas características de importancia en los principales Distritos de Riego ubicados dentro de la zona de estudio; posteriormente se muestra una descripción de mayor detalle.

Cuadro III. 10. Características de los Distritos de Riego de la Zona de Estudio

Distrito de Riego	Demanda anual (Mm ³)	Superficie agrícola regable (ha)	Corriente	Valor económico de su producción (\$1990) ¹³
026, Bajo Río San Juan	560	85,901	Río San Juan	290'000,000
031, Las Lajas	30	4,400	Río San Juan	8'530,800
058, Bajo Río Bravo	992	202,000	Río Bravo	316'591,270
004, Don Martín	160	32,000	Río Salado	34'470,585
086, Soto La Marina	600	35,915	Soto La Marina	25'663,824

Fuera de la Cuenca del Río San Juan, al Noroeste en la Cuenca del Río Salado se encuentra el Distrito de Riego 004, Don Martín; al Noreste, en la margen derecha del Río Bravo, el Distrito de Riego 025, Bajo Río Bravo; hacia el sur, se encuentra el Distrito de Riego: 086, Río Soto La Marina.¹⁴

¹³ Sin incluir vieja notación de pesos, que contaba con otros tres ceros (un nuevo peso = mil viejos pesos).

¹⁴ Aunque el análisis hidrológico realizado en el estudio comenta al Río Pánuco como parte del entorno; se limita a considerar dicha cuenca como una zona de abundancia del agua, sin especificar el papel de los diferentes usos del recurso hidráulico en la misma.

Figura III. 41. Localización de los Distritos de Riego y otras zonas con agricultura de riego en la Zona de Estudio

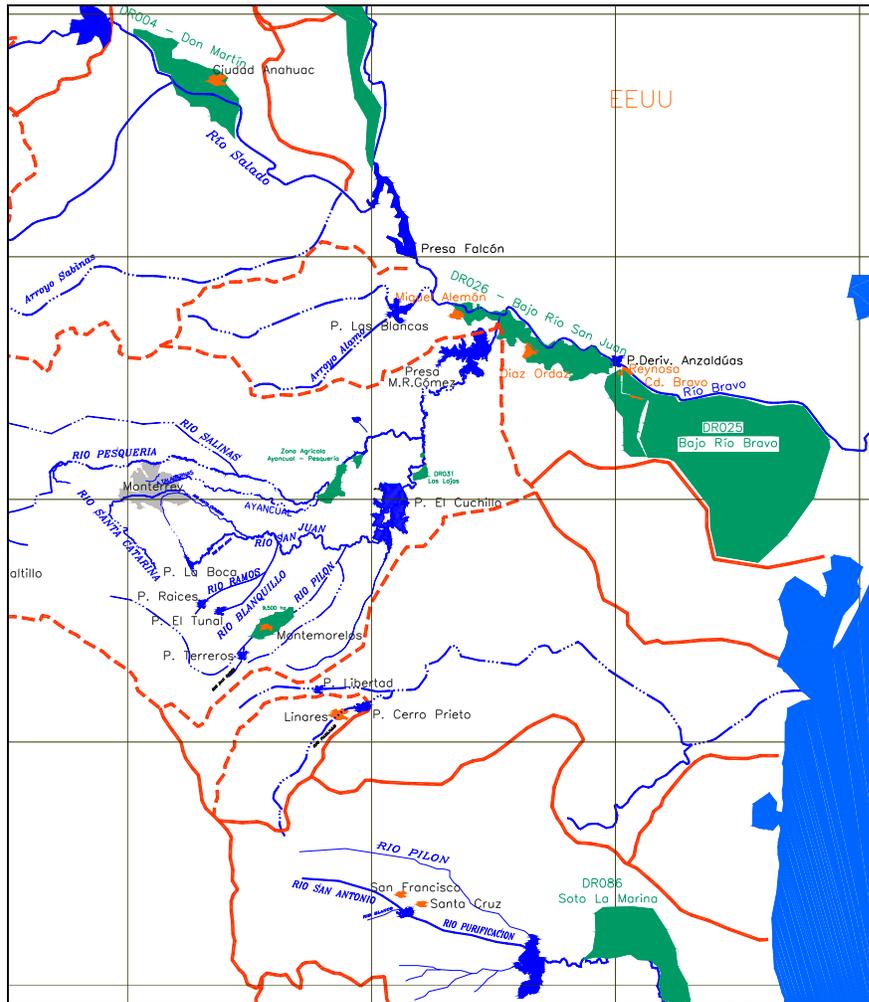
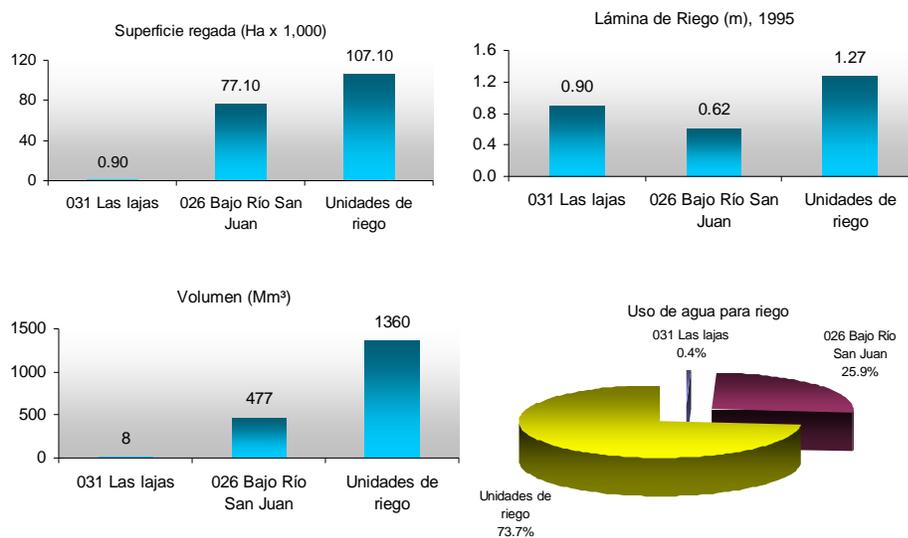


Figura III. 42. Superficie, lámina y volumen de riego de la subregión San Juan, 1995



III.2.2.1. Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan

El distrito de riego del Bajo Río San Juan, se encuentra en la confluencia de los ríos Bravo y San Juan, a lo largo de la margen derecha del río Bravo. Políticamente comprende los municipios de Río Bravo, Reynosa, Miguel Alemán, Camargo y Díaz Ordaz, en la porción norte del Estado de Tamaulipas.

Su superficie agrícola asciende a 85,901 ha, que requieren anualmente el riego con 541 Mm³, provenientes principalmente del Río San Juan y en segundo término, del río Pesquería.

Para el riego del distrito se aprovechan las aguas del río San Juan, reguladas en la presa Marte R. Gómez, las cuales son conducidas a la zona de riego a través del canal Rodhe, auxiliado mediante bombes en la planta Anzaldúas – Rodhe.

Este Distrito de Riego está integrado por 13 módulos transferidos al 100% a los usuarios.

El volumen de agua disponible para riego, promedio del período 1991 – 1997, fue de 337 Mm³, con los cuales se sembró una superficie promedio de 59,000 ha; sin embargo, desde 1993, la disponibilidad del agua se redujo, al grado que en 1997, solamente se contó con 147 Mm³.

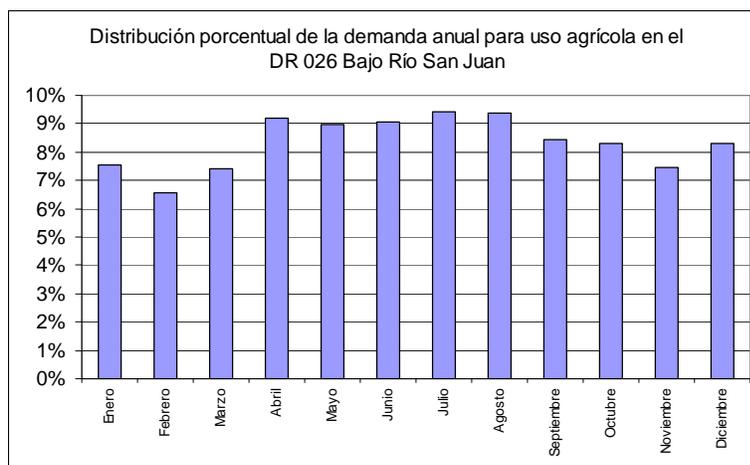
La baja disponibilidad de agua para riego, obligó a reducir el agua aplicada a los cultivos y a la elaboración de planes de riego restringidos, en que los cultivos predominantes resultaron aquellos de menor demanda de agua, como el sorgo, que derivan un menor ingreso de producción para los agricultores. En las condiciones de los últimos años descritos, la superficie regada recibió únicamente riegos de auxilio, ya que las láminas brutas utilizadas se redujeron al orden de 40 cm en 1996 y 1997.

La figura III.26 describe la distribución mensual de las extracciones anuales para riego en el DR 026 Bajo Río San Juan.

La eficiencia global – infraestructura y uso en la parcela - en el DR026 se estima en 30%.

Además de la actividad agrícola, en 1990 se identificaron más de 10,000 cabezas de ganado diverso (bovino, porcino, caprino y ovino) y más de 300,000 aves destinadas a la producción de huevo y otros productos.

Figura III. 43. Distribución porcentual de la demanda anual para uso agrícola en el DR026



El valor económico total de su cosecha en 1990 ascendió a \$290'000,000 (aproximadamente \$752'000,000 en el año 2,000) y el de su producción pecuaria, a \$111'000,000 miles de pesos (cerca de \$288'000,000 en el año 2,000), con un valor presente del orden de \$1,040'000,000.

La demanda actual de agua para fines agrícolas, se identifica como la necesaria para el suministro de riegos de “punteo” en cultivos no redituables. Estos no permiten el desarrollo de modelos agrícolas que representen un negocio rentable y a su vez, demandan la mayor parte del agua de la cuenca.

III.2.2.2. Distrito de riego 031, Las Lajas

Este distrito de riego, inició su operación en el año de 1947 y mediante un acuerdo presidencial se estableció el 15 de septiembre de 1945. Se ubica en las márgenes del río San Juan, aguas abajo de la Presa El Cuchillo y cuenta con una superficie agrícola regable que asciende a 4,400 ha, propiedad de 218 usuarios. Para el riego de dichas superficie, esta zona agrícola requiere de un promedio anual de 33 Mm³.

La superficie agrícola comprende parcialmente los municipios: General Bravo, China, Doctor Coss, Los Ramones, Cadereyta y General Terán, todos en el Estado de Nuevo León; el 75% de la misma se ubica en los primeros dos municipios mencionados.

Los principales cultivos son: sorgo, frijol, maíz, frijol soya y trigo.

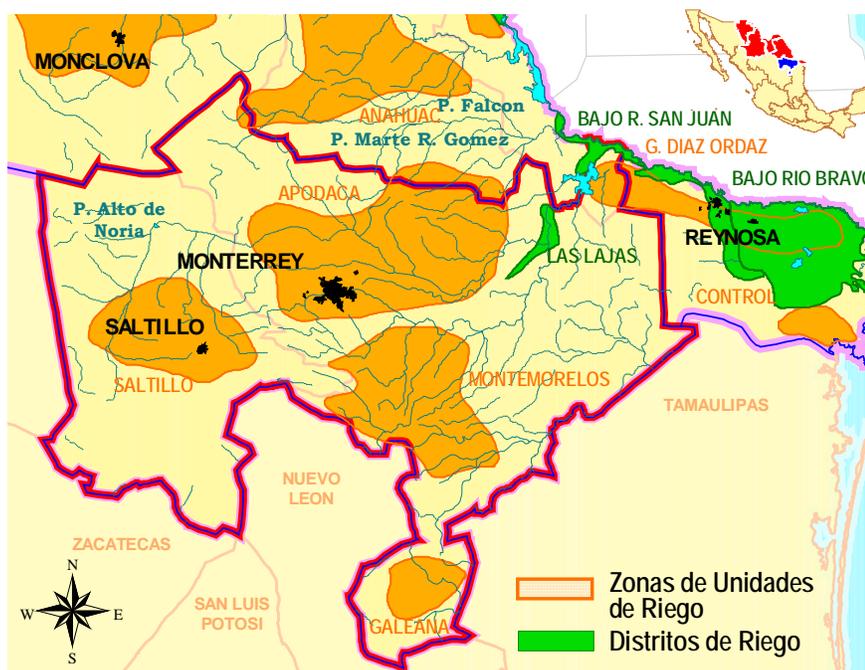
III.2.2.3. Distritos de riego en los alrededores de la Cuenca del Río San Juan

En la zona de estudio el agua es un recurso de frecuente escasez, razón por la cual, el crecimiento de la superficie agrícola de riego, prácticamente se encuentra detenido desde hace algunas décadas; de hecho, el aumento de la población de las ciudades fronterizas de Tamaulipas, así como de Ciudad Anáhuac y Monterrey, han puesto en duda el uso del agua disponible para fines agrícolas, con un creciente interés en su aprovechamiento para abastecimiento de agua potable a los habitantes de dichas ciudades.

Los distritos de riego ubicados en las cuencas vecinas, que a su vez se consideran importantes en la propuesta de aprovechamientos hidráulicos para la Cuenca del Río San Juan, cuentan con una superficie regable, que asciende a mas de 250,000 ha, la cual se describe en el siguiente cuadro.

III.2.2.4. Unidades agrícolas y otras zonas de riego.

Figura III. 44. Distritos y unidades de riego en la subregión administrativa San Juan



Zonas agrícolas de los arroyos Ayancual y Pesquería

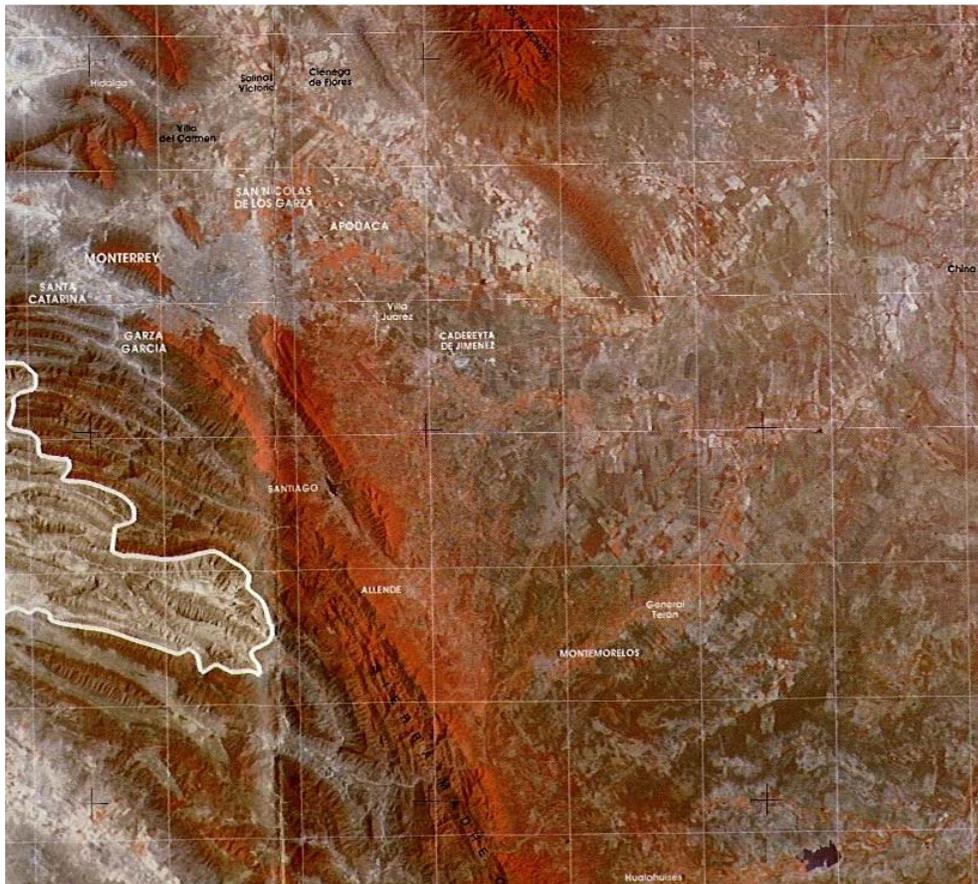
Durante las décadas pasadas, la costumbre de usar los arroyos Ayancual y Pesquería como acueductos de desagüe público urbano de la Ciudad de Monterrey, originó el desarrollo de zonas agrícolas que actualmente riegan más de 10,000 y dan sustento a los agricultores locales. Sin embargo, debido a la falta de infraestructura el uso de agua residual en dichas tierras es ineficiente. Esta superficie puede verse en el espaciograma de la figura III. 27, donde se confirma que aguas arriba de la Zona Metropolitana de Monterrey la lotificación agrícola es inapreciable.

Zonas agrícolas del Alto Río San Juan

Especialmente en las zonas altas de la Cuenca del Alto Río San Juan, en las márgenes de los arroyos: Ramos, Blanquillo y Pílon, se encuentran superficies agrícolas con una extensión total, del orden de 12,000 Ha: 9,500 Ha en Montemorelos (Pílon), 90 Ha en el río Blanquillo y 2,610 Ha en el río Ramos. Estas zonas se reconocen por su alta productividad y rendimiento, especialmente en el cultivo de cítricos. El abastecimiento se realiza mediante derivaciones.

Al observar el espaciograma de la Cuenca del Alto Río San Juan, se aprecia que prácticamente toda la superficie se encuentra lotificada, lo cual significa que en toda la Cuenca se realiza agricultura, aunque no necesariamente sea agricultura de riego, sino también de temporal.

Figura III. 45. Espaciograma en que se aprecia la lotificación de la subcuenca del Alto río San Juan



III.2.2.5. *Uso pecuario*

Un sector que requiere de una menor demanda de agua es el uso pecuario. La suma de cabezas de ganado bovino y porcino, en el año de 1995 ascendía a casi quinientas mil.

En forma similar al uso industrial y al uso público – urbano, el uso pecuario justifica el aprovechamiento de agua subterránea en pequeña escala.

Cuadro III. 11. Descripción del uso pecuario y de su demanda de agua

Región Hidrológica	Subregión Hidrológica	Estado	USO PECUARIO						
			Cabezas (miles)				Demanda de agua		
			Bovino	Porcino	Otros	Suma	Superficial	Subterránea	Total
24 Bravo - Conchos	24 F San Juan	Coahuila							
		Nuevo León	259.60	78.30	448.50	786.40	9.40	0.30	9.70
		Tamaulipas							
Subtotal	24 Bravo - Conchos		259.60	78.30	448.50	786.40	9.40	0.30	9.70
25 San Fernando - Soto La Marina	25 A. San Fernando	Nuevo León	51.40	28.80	48.60	128.80	1.80	0.00	1.80
	25 B. Soto La Marina	Nuevo León	28.80	20.40	47.00	96.20	1.20	0.00	1.20
	Subtotal	25 San Fernando - Soto La Marina	80.20	49.20	95.60	225.00	3.00	0.00	3.00
Total Regional			339.80	127.50	544.10	1,011.40	12.40	0.30	12.70

III.2.3. Uso industrial

El área metropolitana de la ciudad de Monterrey comprende casi la totalidad de las industrias de la CRSJ. Después de la industria ubicada en el Valle de México, la industria regiomontana en las últimas décadas, se ha convertido en la segunda más grande y eficiente del país, con un crecimiento del orden del 4.2% anual, que representa el máximo nacional (el del Valle de México es del orden del 2.3% anual)¹⁵.

De este modo, el crecimiento de la demanda de agua para uso industrial es inminente y necesario; de la cual en 1999, de los más de 90 Mm³ anuales, cerca del 60% del agua destinada a este fin (aproximadamente¹⁶ 70 Mm³), era agua residual tratada. La demanda de agua residual para uso industrial, representa aproximadamente el 30% del volumen total de agua residual generada en la Zona Metropolitana de Monterrey.

Decir que en la cuenca del río San Juan cada metro cúbico de agua produce \$64 pesos, es referirse exclusivamente a la importancia de la industria, pues el agua empleada para fines público – urbano - doméstico y aun más, para usos agrícolas, presentan una relación mucho menor (entre \$5.00 / m³ y \$0.20 / m³), económicamente incompetente con el sector industrial. Esto es un factor determinante ante la insuficiencia de recursos económicos para el desarrollo del sector hidráulico, que en la medida de la crisis, incrementa sus compromisos con el sector industrial y lo reduce con el agrícola.

La industria de la ZMM dispone de derechos para el aprovechamiento del agua subterránea de los acuíferos que la subyacen y además, de agua residual cruda y tratada. El uso de agua para fines industriales en la Subregión, representa el 3% de la demanda total.

Actualmente, el uso industrial compite por el agua residual con los agricultores ubicados en las márgenes del río Pesquería y del arroyo Ayancual.

El precio “sombra” de la escasez de agua en el sector industrial, resulta mucho mayor que el de los otros sectores usuarios, motivo por el cual resulta lógico defender su derecho en el aprovechamiento de agua de primer uso y residual; pues además de tratar dichas aguas (lo cual constituye una acción de saneamiento), se reduce la necesidad de importar agua desde otras cuencas.

III.2.4. Uso para generación de energía eléctrica

El agua necesaria para este fin, proviene de los acuíferos y del agua residual. El consumo total de agua asciende a 16.3 Mm³, que representa aproximadamente el 1% de la demanda de toda la subregión.

¹⁵ Noticiero “Monitor”, 20 de diciembre de 1999.

¹⁶ Estudio de Horizontes para el manejo de los Recursos Hidráulicos en México

Cuadro III. 12. Demanda de agua para generación de energía eléctrica

	Demanda de las Principales plantas de generación (Mm ³ / año)			
	Monterrey	San Jerónimo	Huinalá	Total
Superficial	0.0	0.0	0.0	0.0
Subterránea	11.8	1.4	0.3	13.5
Reuso	0.0	0.0	2.8	2.8
Total	11.8	1.4	3.1	16.3
Generación media GWH	2.6	0.4	2.1	32.6
Todas ubicadas en la subregión 24 - F. Río San Juan				

III.2.5. Uso del agua residual urbana

Cuando se realizaron las primeras descargas de agua residual de la ciudad de Monterrey hacia los ríos Ayancual y Pesquería, los efectos sobre el ambiente y sobre los habitantes que dependían de dichas corrientes, fueron locales; sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX ya se producían grandes volúmenes de agua residual que constituyen una fuente de contaminación regional. Por este motivo, el agua residual es tratada en su totalidad mediante plantas de tratamiento construidas a partir de 1995.

El volumen de agua residual que se produce en la ZMM, es del orden del 60% del volumen de agua potable suministrado. Este volumen se ha encontrado a disposición de los usuarios industriales y agrícolas, y estos últimos, prácticamente han hecho un uso total del mismo, en las márgenes de los ríos Ayancual y Pesquería.

De acuerdo con la norma NOM ECOL 001, es necesario tratar el agua residual descargada en todas las localidades de más de 2,000 habitantes de la CRSJ (y del país). Esto favorece el planteamiento de esquemas de reuso en sectores con demanda potencial de agua residual tratada.

Entre las principales razones por las cuales es conveniente tratar el agua, se encuentran: i) la necesidad de respetar al ambiente; ii) la mitigación de riesgos de enfermedades hídricas, originarias del uso del agua cruda para consumo humano o riego de hortalizas y iii) la posibilidad de reutilizarla en forma eficiente, para obtener un máximo rendimiento del agua.

Tal como se describe en los capítulos anteriores, el incremento de la demanda de agua potable se debe a la explosión demográfica de la Zona Metropolitana de Monterrey. Como consecuencia, existe una creciente dificultad para satisfacer dicha demanda, ya que es necesario el aprovechamiento de fuentes lejanas de abastecimiento.

De este modo, el incremento del suministro de agua a esta zona urbana, tiene dos efectos: el primero, es un incremento en la generación de agua residual, y el segundo, es un incremento en el costo del agua potable.

El agua residual constituye una creciente e importante fuente de abastecimiento para la industria, para la agricultura e inclusive para algunos usos urbanos. A diferencia del agua residual cruda, el agua residual tratada puede aplicarse en un mayor número de actividades sin producir riesgos de importancia.

La actividad industrial no requiere exclusivamente de agua potable. En algunos casos puede emplear el agua cruda o tratada, con impactos nulos en sus procesos. Además, mientras el costo del agua potable se incrementa, resulta más atractivo el tratamiento del agua residual.

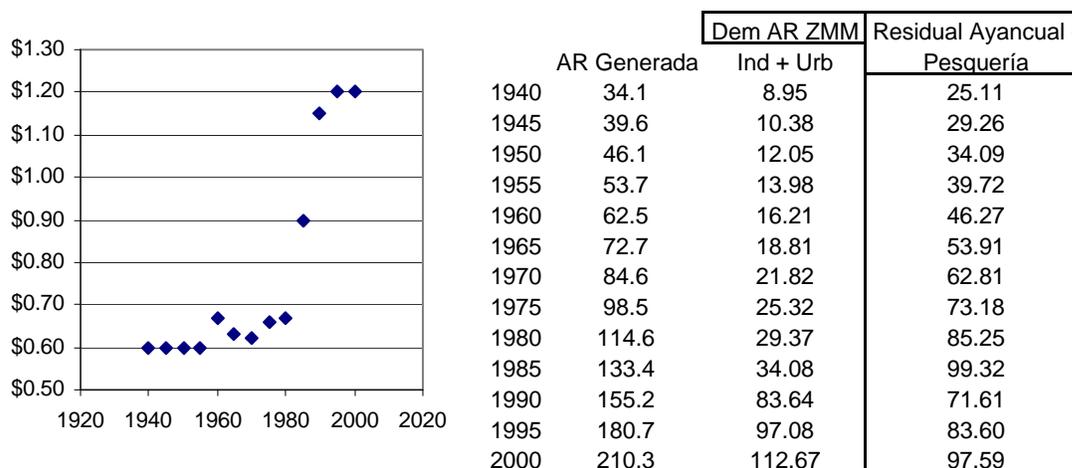
El costo del tratamiento varía según la calidad del agua a tratar y la calidad que se pretende mediante el tratamiento.

Al analizar la situación del agua residual producida en la ZMM, resultan de importancia los siguientes factores:

- La alternativa de utilizar el agua residual tratada para suministro de agua potable, no es atractiva, principalmente por su costo, por el efecto psicológico que produce en los consumidores y por los riesgos desconocidos que puede representar sobre la salud.
- Existe una demanda potencial de agua residual para los usos: urbano, industrial y agrícola. Esto significa que dichos usuarios cuentan básicamente con dos alternativas para satisfacer su demanda: el uso de agua potable o el uso de agua residual.
- El incremento del costo del agua potable y su escasez, hacen del uso del agua residual una alternativa atractiva, especialmente el costo de su aprovechamiento y hasta de su tratamiento, es inferior al del uso de agua potable.

Con base en el cálculo del costo unitario del agua potable, a continuación se describen los diferentes parámetros que definen la evolución de la demanda del agua residual en la zona de estudio.

Cuadro III. 13. Evolución de los costos del agua potable en la ZMM y demanda de agua residual¹⁷



A partir de 1984, la importación de agua desde la cuenca del Río Pablillo incrementó el costo del agua. Los crecientes costos del agua marginan a los usos menos redituables, en este caso, el aprovechamiento para la agricultura.

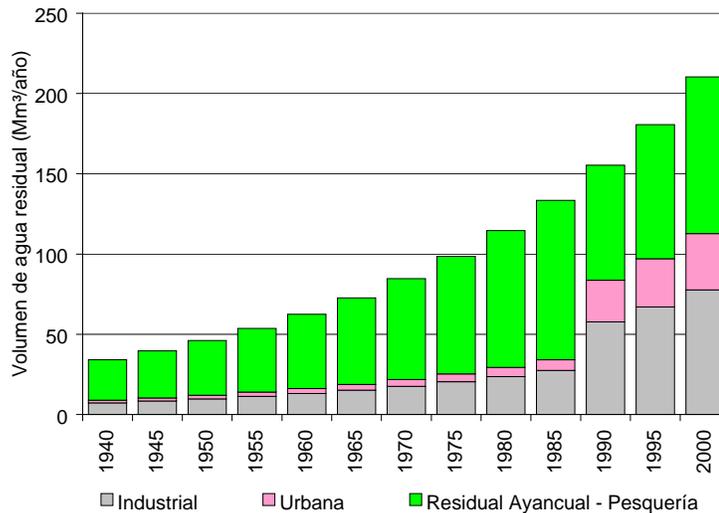
La evolución del costo futuro del agua, determinará el incremento de la demanda potencial de agua residual. La magnitud de la demanda de agua potable, excede en casi un 200 % a la demanda agrícola y aproximadamente en un 900 % a la demanda urbana, si los usos industrial y

¹⁷ Resulta de gran importancia el conocimiento de las demandas reales y potenciales de agua, según su uso y su calidad. Para este análisis se estimaron en forma hipotética los incrementos de la demanda potencial de agua tratada para los distintos usos y simultáneamente, la evolución de los costos del agua de primer uso según las nuevas fuentes de abastecimiento. Se determinó que la demanda potencial de agua residual para el uso rural es total, mientras que es creciente en el uso industrial, ya que este último, no siempre requiere de agua de primer uso y además, es capaz de pagar por el tratamiento del agua residual. En contraparte, la demanda de agua residual para abastecimiento de agua potable es nula y para fines urbanos se considera que aumentará con el mismo ritmo de crecimiento de la población.

público urbano usaran exclusivamente agua residual para su desarrollo, el agua residual disponible para otros fines (agrícola y público, posiblemente), podría reducirse casi en su totalidad.

A partir de los cálculos precedentes, resulta obvio el incremento de la demanda potencial de agua de segundo uso, debido al incremento de la demanda y de los costos del agua de primer uso.

Figura III. 46. Uso del agua residual originaria de la ZMM



III.2.5.1. *Uso del agua residual para fines agrícolas*

El uso de agua residual urbana para fines agrícolas, se originó y evolucionó de manera descontrolada hasta finales del siglo XX. La escasez convierte al uso de agua residual en una alternativa atractiva, capaz de mitigar la insuficiencia.

Ya que se espera un incremento en la demanda y en la oferta de agua potable en la CRSJ, entonces igualmente se espera un incremento en la generación de agua residual. De este modo, el aprovechamiento de agua residual es una importante tarea que varía aproximadamente en la misma proporción que la oferta.

Entre las estrategias que permiten mitigar la insuficiencia de agua por medio del uso de agua residual, se encuentra el *Intercambio de agua potable por agua residual tratada*.

En algunos casos es posible disponer de agua residual cruda o tratada, útil y recomendable para el riego de ciertos cultivos. De este modo, a aquellos usuarios agrícolas que riegan con agua útil para beber, se les puede intercambiar el agua clara por el agua residual. Esto permite el cuidado de las fuentes de agua potable, además de que permite un tratamiento natural del agua, ya que parte o la totalidad de la materia orgánica diluida en el agua residual favorece al crecimiento de los cultivos en forma higiénica. Esta alternativa puede ser de gran utilidad en la Ciudad de Saltillo, para evitar la sobreexplotación del acuífero.

Ante la necesidad de cumplir con los convenios interestatales entre los gobiernos de Nuevo León y Tamaulipas, se analiza la posibilidad de construir un ducto de aguas residuales, que transporte todo el volumen de agua residual tratada, producida en la ZMM, hacia el DR026; esto reduciría

pérdidas por infiltración, por evaporación y principalmente, por “robos” de usuarios no empadronados, residentes en las márgenes de los ríos Pesquería y Ayancual.

Cuadro III. 14. Parámetros simplificados para el uso agrícola

3%	Tasa de crecimiento de la demanda pública
30	Demanda pública 1995 (Mm ³ / año)
10%	Porcentaje de la demanda pública que representa la urbana

Costo del tratamiento de agua residual de uso público urbano para fines agrícolas	
0.1	Primario \$/m ³
1	Secundario \$/m ³
6	Terciario \$/m ³

Demanda agrícola que puede emplear agua residual tratada	
20%	cruda
80%	Tratamiento primario
0%	Tratamiento secundario

III.2.5.2. Uso del agua residual para fines urbanos e industriales

El reuso del agua es una posibilidad más para reducir la demanda del agua en la ZMM. Miles de agricultores dependen de las aguas tratadas residuales de la ZMM, es decir, ya reusan el agua, pero la competencia por el agua residual, determina la posibilidad de reutilizar las aguas residuales en la misma ZMM para otros usos, ya sean aquellos que requieran de una menor calidad u otros, dispuestos a pagar el tratamiento del agua residual.

Cuadro III. 15. Parámetros simplificados para el uso urbano

3.08%	Tasa de crecimiento de la demanda pública
30	Demanda pública 1995 (Mm ³ / año)
10%	Porcentaje de la demanda pública que representa la urbana

60%	Coefficiente de retorno del agua suministrada
-----	---

Costo del tratamiento de agua residual de uso público urbano para fines públicas	
0.1	Primario \$/m ³
1	Secundario \$/m ³
6	Terciario \$/m ³

Demanda pública que puede emplear agua residual tratada	
0%	cruda
0%	Tratamiento primario
0%	Tratamiento secundario
100%	Tratamiento terciario o potable

Demanda urbana que puede emplear agua residual tratada	
0%	cruda
30%	Tratamiento primario
70%	Tratamiento secundario
0%	Tratamiento terciario o potable

Las futuras alternativas de abastecimiento para incrementar el volumen de agua potable disponible, resultan costosas, lo cual motiva la intensificación del reuso del agua propia de la cuenca, con un consecuente incremento en los daños por escasez, debido a la afectación de sistemas de usuarios en serie.

Al suponer posible el reuso de la totalidad de las aguas residuales para fines públicos e industriales en la ZMM, ante el coeficiente de

retorno actual (estimado en un 60%), la disponibilidad de agua se incrementaría hasta en un 150%, con respecto a la de primer uso; sin embargo, esto reduciría a cero la producción de agua residual para los usuarios agrícolas. Además, la intensificación del reuso depende de la demanda de agua residual y de la competencia de costos entre el agua residual tratada y otras alternativas de abastecimiento.

El incremento de la oferta de agua mediante la importación de nuevos volúmenes desde fuentes lejanas, determina una posible producción de agua residual que en función de la evolución de agua residual y tratada, generaría un nuevo volumen disponible para la actividad agrícola.

Cuadro III. 16. Parámetros simplificados para el uso industrial

3%	Tasa de crecimiento de la demanda industrial
30	Demanda industrial 1995 (Mm ³ / año)

Costo del tratamiento de agua residual de uso público urbano para fines industriales	
0.1	Primario \$/m ³
1	Secundario \$/m ³
6.5	Terciario o potable \$ / m ³

Demanda industrial que puede emplear agua residual tratada	
40%	cruda
15%	Tratamiento primario
45%	Tratamiento secundario
0%	Tratamiento terciario o potable

Cuadro III. 17. Uso potencial y resultante para fines industriales

AR Generada		fines industriales										\$/ m ³	
		potencial					\$ < agua blanca ---- DEFINITIVA ----						
		Cruda	Trat. Prim.	Trat. Sec.	Trat. Terc.	Cruda	Trat. Prim.	Trat. Sec.	Trat. Terc.	Industrial			
1940	34.1	5.27	1.98	5.93	0.00	5.27	1.98	0.00	0.00	7.25	0.15		
1945	39.6	6.11	2.29	6.87	0.00	6.11	2.29	0.00	0.00	8.40	0.15		
1950	46.1	7.08	2.66	7.97	0.00	7.08	2.66	0.00	0.00	9.74	0.15		
1955	53.7	8.21	3.08	9.24	0.00	8.21	3.08	0.00	0.00	11.29	0.15		
1960	62.5	9.52	3.57	10.71	0.00	9.52	3.57	0.00	0.00	13.09	0.15		
1965	72.7	11.04	4.14	12.41	0.00	11.04	4.14	0.00	0.00	15.17	0.15		
1970	84.6	12.79	4.80	14.39	0.00	12.79	4.80	0.00	0.00	17.59	0.42		
1975	98.5	14.83	5.56	16.68	0.00	14.83	5.56	0.00	0.00	20.39	0.42		
1980	114.6	17.19	6.45	19.34	0.00	17.19	6.45	0.00	0.00	23.64	0.42		
1985	133.4	19.93	7.47	22.42	0.00	19.93	7.47	22.42	0.00	49.83	0.47		
1990	155.2	23.11	8.66	25.99	0.00	23.11	8.66	25.99	0.00	57.76	0.47		
1995	180.7	26.79	10.04	30.13	0.00	26.79	10.04	30.13	0.00	66.96	0.47		
2000	210.3	31.05	11.64	34.93	0.00	31.05	11.64	34.93	0.00	77.63	0.47		

Cuadro III. 18. Uso potencial y resultante para fines urbanos

AR Generada		fines urbanos										\$/ m ³	
		potencial					\$ < agua blanca ---- DEFINITIVA ----						
		Cruda	Trat. Prim.	Trat. Sec.	Trat. Terc.	Cruda	Trat. Prim.	Trat. Sec.	Trat. Terc.	Urbana			
1940	34.1	0.00	1.70	3.97	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00	1.70	0.24		
1945	39.6	0.00	1.98	4.63	0.00	0.00	1.98	0.00	0.00	1.98	0.24		
1950	46.1	0.00	2.31	5.38	0.00	0.00	2.31	0.00	0.00	2.31	0.24		
1955	53.7	0.00	2.68	6.26	0.00	0.00	2.68	0.00	0.00	2.68	0.24		
1960	62.5	0.00	3.12	7.29	0.00	0.00	3.12	0.00	0.00	3.12	0.24		
1965	72.7	0.00	3.64	8.48	0.00	0.00	3.64	0.00	0.00	3.64	0.24		
1970	84.6	0.00	4.23	9.87	0.00	0.00	4.23	0.00	0.00	4.23	0.66		
1975	98.5	0.00	4.92	11.49	0.00	0.00	4.92	0.00	0.00	4.92	0.66		
1980	114.6	0.00	5.73	13.37	0.00	0.00	5.73	0.00	0.00	5.73	0.66		
1985	133.4	0.00	6.67	15.56	0.00	0.00	6.67	15.56	0.00	22.23	0.73		
1990	155.2	0.00	7.76	18.11	0.00	0.00	7.76	18.11	0.00	25.87	0.73		
1995	180.7	0.00	9.03	21.08	0.00	0.00	9.03	21.08	0.00	30.11	0.73		
2000	210.3	0.00	10.51	24.53	0.00	0.00	10.51	24.53	0.00	35.04	0.73		

III.2.6. Infraestructura hidráulica¹⁸

Para aprovechar el agua de las fuentes superficiales y subterráneas de la CRSJ, existen obras hidráulicas de: captación, almacenamiento, conducción, distribución y drenaje, que en algunos casos se complementan con sistemas de tratamiento para facilitar el reuso y el reciclaje.

El aprovechamiento de las aguas superficiales en las diversas corrientes de la cuenca, se da por medio de pequeños bordos y presas derivadoras; sin embargo, para el abastecimiento de agua potable a la ZMM se construyeron las presas: La Boca (1963), Cerro Prieto (1984) y El Cuchillo

¹⁸ El anexo fotográfico (*Anexo F*) presenta fotos de las principales presas y otras obras hidráulicas de importancia en la zona de estudio.

(1994); mientras que para el abastecimiento de agua en el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan, se construyó la presa Marte R. Gómez (1943).

Hasta 1962, las presas construidas en la CRSJ, tuvieron como propósito el almacenamiento de agua para uso agrícola. La presa Marte R. Gómez, construida en 1943 para el abastecimiento del Distrito de Riego 026, Bajo San Juan suministró anualmente un volumen del orden de 540 Mm³ para el riego de una superficie de más de 65,000 ha. Como resultado de este aprovechamiento, la infraestructura agrícola se desarrolló específicamente en los distritos de riego: 031 y 026, descritos previamente.

En la subcuenca del Alto Río San Juan el riego de una superficie de aproximadamente 10,000 ha depende de pequeños bordos derivadores; localizados en los ríos Blanquillo, Ramos y Pilón.

Monterrey, que en 1810 contaba apenas con siete mil habitantes, actualmente es la segunda ciudad más importante del país por su peso financiero e industrial, y la tercera por el número de pobladores. En 1878 para satisfacer sus necesidades de agua, no requería más que tomarla directamente del río Santa Catarina, que cruza la ciudad y ahora se encuentra canalizado.

A principios del siglo XX, conforme se convirtió en una urbe, Monterrey comenzó a aprovechar agua de la galería San Jerónimo y de los pozos profundos, e incorporó el sistema Estanzuela mediante una represa y conducción por gravedad hasta la ciudad. El río Santa Catarina era todavía, a principios de la década de los 50, la fuente de suministro más importante.

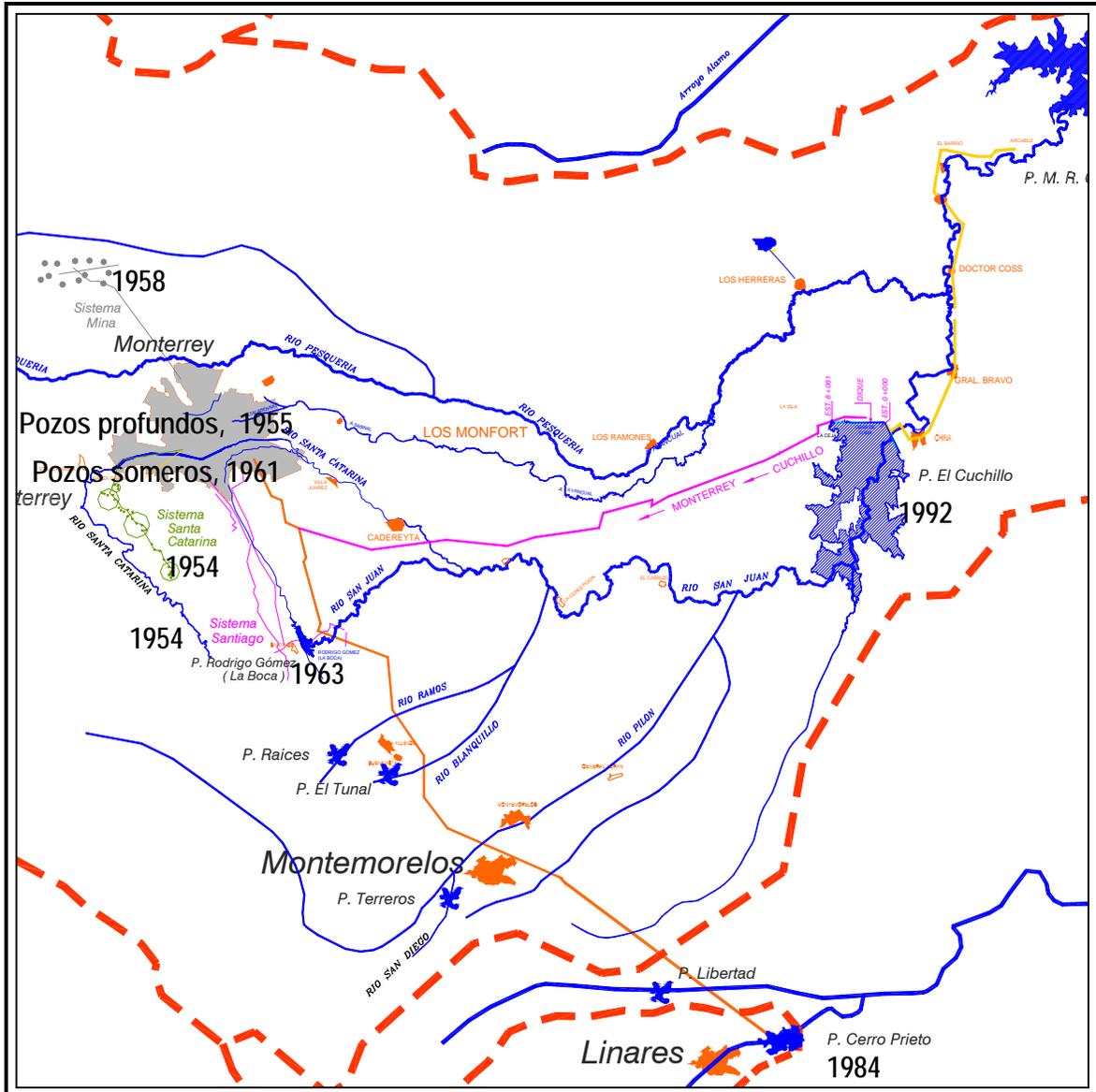
Cuadro III. 19. Descripción general de fuentes subterráneas de abastecimiento de la ZMM

ABASTECIMIENTO A LA ZMM MEDIANTE ACUÍFEROS				Sistema Monterrey		
Nombre	Sistema Santa Catarina	Sistema Mina	Sistema Santiago	Manantiales Jacales y Apodaca	Pozos someros	Pozos profundos
Inicio de operación	1965	1958	1965	1954	1961	1955
Tipo	Galerías, Túneles y pozos. Pozos y galería filtrante	24 pozos profundos. Opera con 2 acueductos y 4 tanques	2 túneles y 2 manantiales: Cola de Caballo, San Francisco, La Estanzuela y los Elizondo.	2 manantiales: Jacales y Apodaca	164 pozos someros	13 pozos profundos de Monterrey y Topochico
Almacenamiento (Mm ³)			Se envían los volúmenes a la Boca			
Recarga (Mm ³ /año)		22.44				
Capacidad (m ³ /s)	1.58	0.50	1.46	0.07	0.14	0.20
Área de captación (km ²):	1,000.00					
Área de aprovechamiento (km ²):		16.00				
Distancia al centro de demanda (km)		36.00				

Tal como se describe previamente, los acuíferos y algunas corrientes superficiales perennes, permitieron el crecimiento de los principales poblados de la zona de estudio¹⁹.

Figura III. 47. Localización e inicio de operación de fuentes de abastecimiento de Monterrey

¹⁹ De este modo, las fuentes subterráneas de abastecimiento se describen previamente, en el apartado de Acuíferos.



En pleno auge industrial y con una población creciente, la extrema sequía ocurrida desde mediados de los años 50 hasta 1965, provocó una aguda escasez de agua en la Ciudad de Monterrey, que hizo necesario incorporar la galería Huasteca, los túneles de San Francisco y Cola de Caballo y fuentes como los pozos de Campo Mina; en 1963 se construyó la presa La Boca, que desde entonces ha suministrado un promedio anual de 48 Mm³. En la parte baja de la cuenca, parte del agua almacenada en la presa Marte R. Gómez, permitió asegurar el abastecimiento de algunas ciudades situadas junto al río Bravo.

Debido a las características fisiográficas de la CRSJ, el escurrimiento de mayor magnitud se origina en la Sierra Madre Oriental, a partir de tormentas ciclónicas originarias del Golfo de México. La mayor parte del escurrimiento proveniente de dicha Sierra, fluye en el área de captación de la Presa El Cuchillo.

Como resultado de la gran escasez de agua potable ocurrida a finales de la década de los setenta, se confirmó la necesidad de importar agua desde la Cuenca del Río San Fernando, para lo cual se

construyó el Proyecto Monterrey IV (conocido como acueducto Linares – Monterrey), que a partir de 1984, suministró un promedio anual de 60 Mm³ (2,400 l/s).

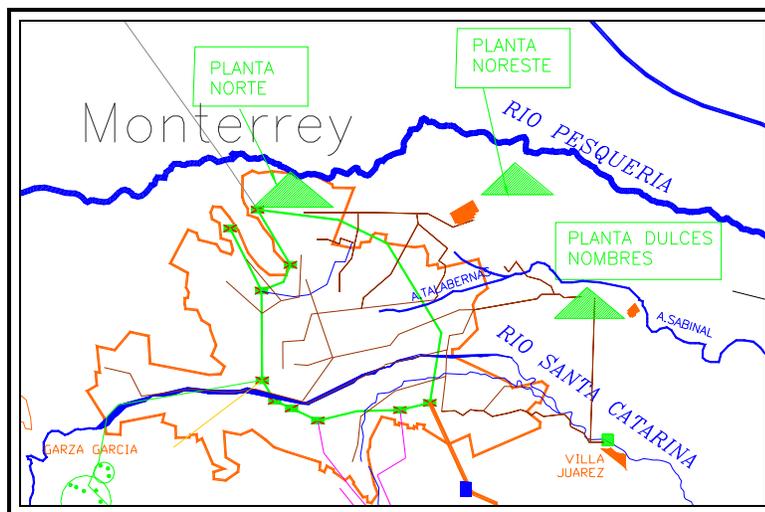
A principios de la década de los noventa, la zona metropolitana de Monterrey requería de un caudal de abastecimiento de agua de 11,800 l/s. Con la producción de todas sus fuentes había un déficit de 2,500 l/s.

En 1994 inicia su operación la presa El Cuchillo, con el propósito de aprovechar hasta 10 m³/s de las aguas del río San Juan. Esta obra obligó a realizar obras colaterales en Tamaulipas a fin de compensar la disminución de entradas de agua a la presa Marte R. Gómez, con la finalidad de no afectar al distrito de riego 26, Bajo río San Juan. Entre las obras colaterales, destaca el uso de la planta de bombeo Anzalduas – Rhode y de cuatro plantas de tratamiento, que aportan agua a la presa Marte R. Gómez.

Aproximadamente, el aprovechamiento de agua de la ZMM en 1998, empleaba tres fuentes de agua superficial: la boca 833 l/s; Cuchillo, 2,155 l/s y Cerro Prieto, 3,036 l/s; y agua subterránea de cinco acuíferos: Buenos Aires (Huasteca), 1,986 l/s; Monterrey, 735 l/s; Mina, 126 l/s (abastece además a otros 6 municipios); Santiago (Huajuco), 1017 l/s y pozos foráneos 1,977 l/s.

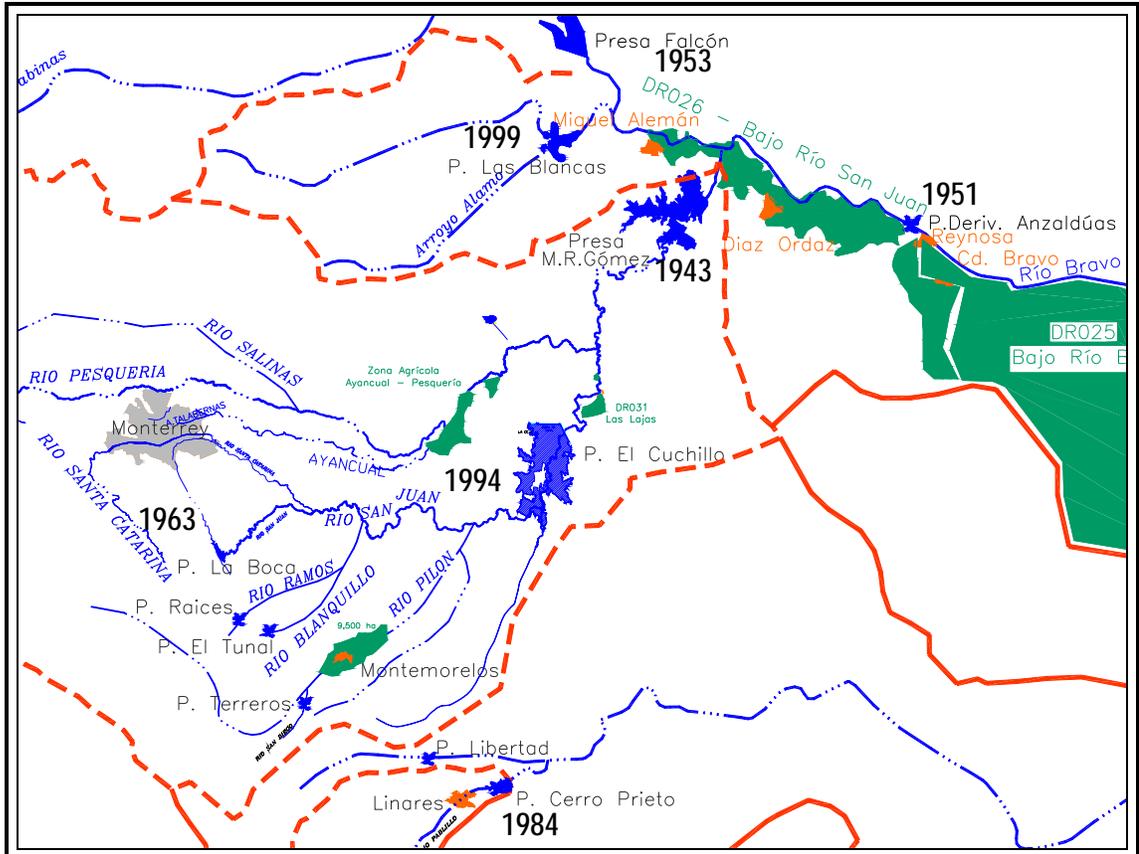
Simultáneamente se efectuaron importantes acciones para el ahorro del agua así como estudios de futuras fuentes de abastecimiento para la ZMM, que determinaron factible el aprovechamiento intensivo de los acuíferos locales y de las aguas del río San Juan, mediante la presa el Cuchillo – para aprovechar aproximadamente el 55% del escurrimiento medio anual del área de captación de la Presa Marte R. Gómez –.

Figura III. 48. Representación gráfica de la infraestructura de distribución, almacenamiento y drenaje de la Ciudad de Monterrey



La Ciudad de Monterrey, ha llevado a cabo programas intensivos de control de fugas y obras de automatización de las redes de agua potable que permiten una distribución; además se cuenta con un grupo de tanques de almacenamiento interconectados mediante un anillo de distribución, que a su vez perciben el agua de las fuentes externas. También se construyó una infraestructura de drenaje que permite el tratamiento y reuso de las aguas residuales.

Figura III. 49. Inicio de operaciones de las principales presas construidas en la CRSJ y en sus aledaños



El siguiente cuadro presenta la evolución de los volúmenes aportados de las distintas fuentes de abastecimiento a la Ciudad de Monterrey.

Ya que el principal afluente de la presa Marte R. Gómez, es la subcuenca del Río San Juan, aguas arriba de la presa El Cuchillo, y ante una creciente demanda para reuso en la ZMM y de pequeños usuarios ubicados a lo largo del río Pesquería y San Juan, aguas arriba de la presa Marte R. Gómez; la disponibilidad que ofrece esta última presa no asegura el suministro suficiente para fines agrícolas ni público urbano de la Ciudad de Camargo, razón por la cual la oferta se incrementa mediante la presa derivadora Anzaldúas, localizada sobre el río Bravo, que por medio del acueducto Anzaldúas Rhode, bombea agua hacia la presa Marte R. Gómez. La reducción en los almacenamientos de la presa Marte R. Gómez, incrementa la necesidad de un gasto firme, para el DR026.

Tanto la presa Cerro Prieto, como El Cuchillo, cuentan con acueductos de transferencia con plantas de bombeo y de tratamiento que comparte con la presa La Boca, que percibe parte de su caudal de dos túneles y dos galerías filtrantes.

Al construir la presa “El Cuchillo”, se estableció el compromiso de tratar y transferir el 60% de las aguas aprovechadas con la misma – volumen que se consideró equivalente a los retornos de agua residual para uso público urbano -; para lo cual se construyeron tres plantas de tratamiento y se propuso la construcción de un acueducto de transferencia de agua tratada.

Cuadro III. 20. Evolución de la aportación de las fuentes de abastecimiento de Monterrey (l / s)

Año	Mina	Sta. Catarina	Santiago	Pozos Someros	Pozos Profundos	Linares	Cuchillo	Total
1954		759	43					801

1955		773	61		191			1025
1956		882	39		184			1105
1957		750	111		144			1005
1958	205	760	337		157			1459
1959	368	1122	301		63			1854
1960	412	1028	434		11			1885
1961	450	903	597	23	51			2024
1962	488	974	642	41	67			2213
1963	434	1007	696	9	78			2224
1964	609	1032	611	11	78			2341
1965	510	967	956	12	19			2463
1966	417	1020	1191	0	25			2654
1967	542	1207	1058	0	26			2834
1968	587	942	1197	0	0			2726
1969	752	1314	1207	0	0			3273
1970	817	1509	1346	0	0			3673
1971	839	1410	1657	30	0			3935
1972	911	1657	1727	27	5			4327
1973	911	2023	1893	18	33			4879
1974	960	2230	1943	20	80			5233
1975	1062	2442	1962	17	287			5769
1976	1007	2519	1999	20	494			6040
1977	1115	2901	2036	20	433			6504
1978	1172	3023	2045	20	412			6671
1979	1214	2950	2084	126	530			6905
1980	1474	1990	2061	316	409			6250
1981	1533	2056	2479	382	566			7015
1982	1173	2016	2395	392	417	30		6422
1983	630	1835	2218	587	411	47		5727
1984	654	1807	2699	704	447	565		6877
1985	513	1826	2561	593	388	2088		7969
1986	243	1474	1997	459	218	2325		6716
1987	277	1230	2555	430	233	2616		7340
1988	507	1589	2567	424	281	2223		7591
1989	425	2811	2300	341	251	2983		9111
1990	457	1949	2292	336	116	2919		8069
1991	705	2026	2339	452	226	2279		8027
1992	859	1965	2210	489	218	2476		8216
1993	856	1760	3028	380	169	2191		8384
1994	771	1625	2531	378	169	2587	1848	9909
1995	621	1438	2374	343	153	2251	2147	9327
1996	550	1610	1929	422	188	3036	2155	9890
1997	530	1846	2041	401	179	3031	1796	9824
1998	925	1533	1670	543	242	1730	2764	9407

Cuadro III. 21. Principales presas de la Cuenca del Río San Juan y sus aledaños

PRESAS							
Nombre	La Boca - Rodrigo Gómez -	Cerro Prieto - José López Portillo -	El Cuchillo	Marte R. Gomez - El Azucar -	Falcón	Anzaldúas - derivadora-	Planta de bombeo Anzaldúas - Rhode
Inicio de operación	1963	1984	1994	1943	1953	1951	1982
Constructor	S.R.H.	S.R.H.	S.R.H.	S.R.H.	S.R.E.	S.R.E.	S.R.E.
Propósito	Aqua Potable	Aqua Potable	Aqua Potable	Riego	Hidroeléctrica	Riego	Riego
Región Administrativa	VI		VI	VI	VI	VI	VI
Estado	Nuevo León	Nuevo León	Nuevo León	Tamaulipas	Tamaulipas	Tamaulipas	Tamaulipas
Región Hidrológica	24	24	24	24	24	24	24
Subcuenca	24 B San Juan	25 San Fernando	24 B San Juan	24 B San Juan			
Corriente	San Juan	Pabillito	San Juan	San Juan	Bravo	Bravo	Bravo
Capac. al NAME	46.06	368.00	1,783.00	1,550.00	5,038.00		
Capac (NAMO)	30.33	275.00	1,123.00	1,080.00	5,038.00		
Capac. util	28.73	275.00	849.80	780.00	4,668.00		
Capac. de azolves	1.60		100.00	300.00	370.00		
Capac. Namino	13.00	25.00	202.30				
Superalmacenamiento	4.33	93.00	660.00	470.00	2110 Verano - 3145 Invierno		
Tipo	Torre - galería		Torre y galería	Torre y tunel	Torre y túnel	Canal	Tubería a presión
Carga Máxima		Tubería a presión - acueducto Linares - Monterrey - con 6 plantas de bombeo	22.50		Cap. Control: 2078 Mm³		
Superficie regada ha	0.00		3 640	78000.00		220000.00	220000.00
Potencia instalada					***		
Q diseño. 1a etapa m³/s	1.00	a 6.0 Nominal y Máxima	5.00	12.00	250.00	250.00	
Gasto normal 2a etapa		Riego: 1.0 a 2.0 Nominal y Máxima	10.00				
Area (km²):	266.00	1708.00	8924.00		186,459 - 227,298 Mex - EEUU		
Esc. medio (Mm³):			660.00				
Qmax reg. (m³/s):			7500.00				
Qmax diseño (m³/s):	2250.00	5500.00	15080.00	21000.00	13000.00		
Usuario agrícola				DR 026 BSJ		DR 025 Bajo Río Bravo	DR 026 BSJ
Distancia al centro de demanda							

Cuadro III. 22. Ubicación, proceso de tratamiento y gasto de operación de las principales plantas de tratamiento de la Cuenca del Río San Juan²⁰

MUNICIPIO	PROCESO DE TRATAMIENTO	GASTO DE OPERACIÓN (L/s)	OBSERVACIONES
PESQUERÍA	LODOS ACTIVADOS	3900	PTAR MTY. IV, (DULCES NOMBRES)
GRAL. ESCOBEDO	LODOS ACTIVADOS	1500	PTAR MTY. IV, (NORTE)
APODACA	LODOS ACTIVADOS	500	PTAR MTY. IV, (NORESTE)
SANTIAGO	LAGUNAS AEREADAS	85	EFICIENCIA EN DBO
CADEREYTA	LODOS ACTIVADOS	70	EFICIENCIA EN DBO
MONTEMORELOS	LODOS ACTIVADOS	55	EFICIENCIA EN DBO
ALLENDE	LODOS ACTIVADOS	40	EFICIENCIA EN DBO
GRAL. TERAN	LODOS ACTIVADOS	28	EFICIENCIA EN DBO
CERRALVO	LAG. DE OXIDACIÓN	12	DEFICIENCIA EN DBO < AL 50%

²⁰ Fuente de información: Archivo de la Gerencia Regional Río Bravo, 1998.

Posteriormente, en el apartado de “acciones en proceso”, se muestra la ubicación de las grandes plantas de tratamiento de la totalidad de las aguas residuales de Monterrey, así como algunas de sus características.

En el siguiente cuadro se describe la ubicación y algunas características de las plantas de tratamiento ubicadas en la Cuenca del Río San Juan.

III.2.7. Marco legal

Durante el siglo veinte, los usuarios de la Cuenca del Río San Juan, previeron la necesidad de optimar la distribución del agua, con su asignación establecida en: decretos, vedas, convenios, acuerdos y tratados. Ya que el agua es un recurso frecuentemente escaso en la cuenca, ha sido imprescindible establecer reglamentos para operar las obras de aprovechamiento de las fuentes de abastecimiento, especialmente de los almacenamientos. Los reglamentos definen con precisión, una actitud estratégica irrevocable para administrar el agua durante periodos de déficit.

La situación legal es un aspecto crucial y controversial, por ejemplo, en el mes de febrero de 1999, dada la disponibilidad de agua para la ZMM, se determinó que los usuarios agrícolas de las zonas agrícolas de Las Lajas, Cerro Prieto y Bajo San Juan, no recibirían agua; ante lo cual la unidad de Cerro Prieto amparó su derecho, bajo el antecedente de que en condiciones de disponibilidad similares ya había recibido agua en años anteriores.

En realidad, aunque los almacenamientos eran similares, las condiciones de disponibilidad no eran ya las mismas, pues la demanda era mayor; sin embargo, las distintas variables que contempla la Ley, tales como el principio de jurisprudencia, y la combinación de prioridades que establece la Ley de Aguas Nacionales, podrían determinar diferentes esquemas de manejo del agua, que en lugar de reducir la competencia por su uso, la fomentan.

El más conocido de los conflictos se presenta con el Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan, donde las políticas de operación de la infraestructura hidráulica, subordinan a todos los usuarios agrícolas, debido a la prioridad de abastecimiento de agua para consumo humano en la ZMM.

El día 2 de julio de 1952, el gobierno del estado de Tamaulipas y el gobierno federal, establecieron una veda indefinida que confirió a Tamaulipas el derecho de todas las aguas de la cuenca del río San Juan (hasta el sitio de la presa Marte R. Gómez), para el abastecimiento de 69,748 hectáreas agrícolas del Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan.

Diez años después, la insuficiencia de agua para Monterrey determinó la construcción de la presa La Boca, que comenzó a operar en 1963, para proporcionar a dicha ciudad un gasto de 1,000 l/s. Este volumen representaba entonces menos de 1 / 30 del escurrimiento promedio anual de la totalidad de la Cuenca, además de que el creciente volumen de agua residual producto de la actividad urbana e industrial de la ZMM restituía casi en su totalidad el volumen de agua superficial aprovechada.

Durante los años posteriores, el déficit creció gradualmente, hasta que en el período de 1976 a 1983, los habitantes de la ZMM fueron víctimas de una sequía sin precedentes, que agilizó la construcción de las obras de abastecimiento mediante el Sistema Monterrey IV, que por medio de la presa Cerro Prieto y el acueducto de Linares – Monterrey, ofrecían un gasto promedio anual de 5m³/s, a partir de 1984.

Desde 1984, la demanda y la deficiencia en la ZMM, continuaron crecientes, por lo cual el 13 de diciembre de 1989, el gobiernos Federal y el gobierno Estatal de Nuevo León, acordaron el

Programa Monterrey IV, para el abastecimiento de la ZMM; que incluyó: el aprovechamiento del alto río San Juan, en un caudal promedio anual de 10m³/s. El programa Monterrey IV se propuso en dos etapas con el objetivo de extraer en cada una un promedio de 5 m³/s.

Estas obras se acompañaron de:

- La ampliación, modernización y automatización de las redes de distribución del agua potable.
- La prolongación de los colectores y emisores de agua residual.
- La construcción de dos plantas de tratamiento con capacidad hasta de 8 m³/s, para restituir el agua necesaria del río San Juan, al Distrito de Riego 026.

El proyecto de la presa El Cuchillo, fue financiado por el organismo *Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey – SADM*, con un 60% del monto del proyecto -, el Gobierno Federal (20%) y el Estatal (20%).

En 1990, el gobierno Federal, junto con los gobiernos estatales de Nuevo León y de Tamaulipas celebraron un acuerdo a partir del cual se describieron los criterios para una coordinación especial para el aprovechamiento del Río San Juan para el abastecimiento de usos urbanos e industriales de la ciudad de Monterrey y para el uso agrícola del Distrito de Riego 026.

Posteriormente se efectuó el Reglamento de aprovechamiento del Río San Juan, con la participación de los representantes de las zonas agrícolas y se acordaron políticas de operación de la presa El Cuchillo, así como otros lineamientos generales de operación de las fuentes de abastecimiento para Monterrey.

Se determinó que, cuando el proyecto del Cuchillo originara deficiencias al Distrito de Riego 026, se indemnizaría a los agricultores con un pago equivalente a una tonelada de maíz blanco por hectárea perdida.

Al Distrito de Riego 026, Bajo San Juan, corresponde el cumplimiento de los acuerdos por el aprovechamiento compartido de agua en la CRSJ. La indemnización equivalente a 1 Ton / ha, no representa una solución real, ya que únicamente compensa el valor promedio de la cosecha, pero no contempla la aniquilación del mercado agrícola, de su crecimiento, ni el daño a los habitantes que dependen en forma secundaria del mismo.

El Reglamento de operación de la CRSJ, promueve el pago de indemnizaciones que para la ZMM representan un costo unitario por metro cúbico de agua interceptada en la presa El Cuchillo, de \$0.20, lo que representa su alternativa de menor costo.

En 1994 comenzó a operar la presa *El Cuchillo*, durante un prolongado período de años secos consecutivos, lo cual impidió que el proyecto tuviera un desarrollo económico esperado y retrasó la construcción de las obras complementarias de tratamiento y reuso.

Aún cuando los gobiernos de Tamaulipas y Nuevo León realizaron acciones de emergencia para confrontar la escasez del agua, el conflicto entre los usuarios fue inevitable, así como las afectaciones.

Las indemnizaciones otorgadas, despertaron la codicia de algunos propietarios agrícolas que rentaron sus tierras a otros usuarios para riego exclusivo por temporal, para recibir una renta y una indemnización.

Se propuso la construcción de un acueducto para conducción del agua residual, desde la ZMM hasta el DR026 pero no se realizó por diversos motivos, entre ellos: afectaría a usuarios con derechos sobre el río Pesquería, habría robos de agua en su conducción, y la relación beneficio / costo (B/C) de dicha obra es menor a uno (además, compite con la alternativa de reuso del agua residual en la ZMM, con B/C, mayor a uno).

El proyecto de la presa El Cuchillo, no puso en riesgo únicamente la disponibilidad de agua en las áreas dependientes de los ríos San Juan y Pesquería; sino también el derecho de dichos habitantes, a continuar con la agricultura de riego, su modo de vida.

La confianza del gobierno de Tamaulipas hacia el gobierno de Nuevo León, se deterioró al notar que las prioridades del segundo afectaron en gran medida la vida y la productividad de los agricultores del DR026, ante un esquema operativo regido por constantes indemnizaciones, a manera de transferencia de derechos.

La administración del agua en la zona de estudio, ha creado una pugna entre los gobiernos estatales y federal, así como con el organismo operador, SADM (Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey), que participa en las acciones para el incremento de la eficiencia en el uso del agua en la ZMM y en la operación de la presa El Cuchillo.

Además de los problemas previamente descritos, resulta que del agua residual de la ZMM, dependen más de 18,000 ha agrícolas, ubicadas a lo largo de 172 km, en las márgenes de los ríos Ayancual y Pesquería.

Durante el estiaje y especialmente durante la sequía, la demanda de agua para riego de los agricultores de Ayancual y Pesquería, consume la totalidad de las aguas residuales de la ZMM.

Ante esta situación, inicialmente se consideró clandestino el aprovechamiento de agua en Ayancual y Pesquería y se propuso la construcción de un acueducto entubado para conducir el agua hasta el DR026, y evitar el consumo de otros usuarios.

En caso de no haberse construido la presa El Cuchillo, el aprovechamiento del agua residual de la ZMM en las zonas agrícolas ubicadas en las márgenes de los arroyos Ayancual y Pesquería, no habría perjudicado al DR 026; además, dichas zonas agrícolas reducían el deterioro de la calidad del agua en la presa Marte R. Gómez; y aprovechaban agua residual propiedad de la Nación, (LAN. Art. 16).

Se llevaron a término otras acciones de emergencia para abastecer al DR026; sin embargo, ya que muchos de los usuarios “interceptores” tienen concesiones al uso del agua, se procedió a su reordenamiento y depuración y a la construcción del proyecto “Las Blancas”, para aprovechar hasta 3 m³ / s del río Alamo, en la zona agrícola del Bajo Río San Juan.

En el *Anexo C*, se describe con mayor detalle los principales acuerdos legales celebrados para mejorar la situación del recurso hidráulico en la Cuenca del Río San Juan; igualmente se describe el Tratado Internacional de Aguas, que rige el aprovechamiento de las aguas del río Bravo.

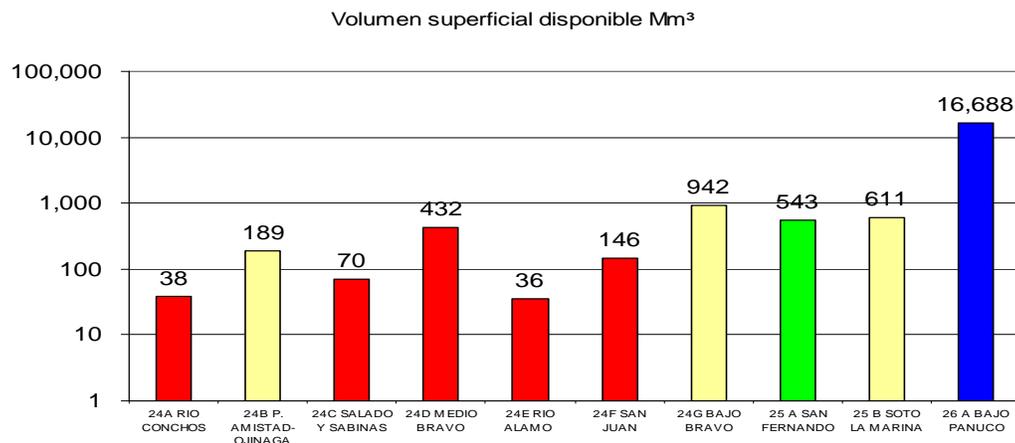
El uso del agua para el desarrollo de las actividades de la zona, respeta las prioridades nacionales estipuladas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, donde la primera prioridad se encuentra el suministro de agua para uso público, sobre cualquier otro uso, además de que promueve el libre consumo de las aguas crudas. Estas condiciones ante la escasez, que se intensifica por la presa El Cuchillo, marginan especialmente al uso agrícola y reducen la escasez en Monterrey.

La operación continua de la presa El Cuchillo desde el inicio su funcionamiento, según documentos se efectuó con el consentimiento de los gobiernos de Nuevo León y de Tamaulipas, pero únicamente ofrece beneficios en todo ámbito de su nivel de vida a la ZMM; mientras que a las zonas agrícolas involucradas, restringe el uso del agua; en algunos casos ha conferido un pago equivalente a las superficies de cosecha perdidas, mas no por la desaparición del mercado agrícola ni mucho menos se han concebido acciones para auxiliar a los habitantes afectados.

III.3. BALANCE HIDROLÓGICO

De acuerdo con la clasificación de disponibilidad establecida por la Comisión Nacional del Agua, el balance hidrológico anual en las cuencas de la Región Administrativa VI - Río Bravo -, presenta la condición de *equilibrio* (en amarillo) o de *déficit* (rojo).²¹ En la Región IX – Golfo Norte - únicamente la cuenca del río San Fernando presenta estado de *disponibilidad* (verde), mientras que la cuenca del Bajo Pánuco se encuentra en condición de *abundancia* (azul).

Figura III. 50. Condición de disponibilidad anual en las cuencas de la zona de estudio



En la figura anterior se observa cuál es el volumen promedio calculado de disponibilidad en cada una de las cuencas.

Las presas Venustiano Carranza y Falcón, prácticamente aprovechan la totalidad de los escurrimientos de sus cuencas tributarias - del río Salado y Bravo, respectivamente -. Al Sudeste de la Región VI, en la región Golfo Norte, se aprovechan la aguas del río Soto La Marina por medio de la presa Vicente Guerrero, fuente de abastecimiento del distrito de riego tamaulipeco 086, Soto La Marina.

La demanda total de agua para usos consuntivos más las evaporaciones (1,538 Mm³ /año) de la Cuenca del Río San Juan, excede en casi un 50% el escurrimiento virgen promedio de cuenca propia – 1,005 Mm³/año, lo cual representa un déficit inminente, que se atiende mediante importaciones desde cuentas externas, con una mayor eficiencia en el uso del agua y con el incremento del reuso.

Hasta 1999, la capacidad de importación de agua a la Zona Metropolitana de Monterrey, ascendía a 189 Mm³.

²¹ Estimación de la disponibilidad hídrica en cuencas, establecida por la CNA

A partir de 1989 el escurrimiento promedio anual fue proporcional al 30% de la demanda (escurrimiento de menos de 500 Mm³), condición de sequía que mantuvo las presas El Cuchillo y Marte R. Gómez con reducidos almacenamientos equivalentes hasta a un 15% de su capacidad útil; lo cual dificultó el reuso del agua y produjo déficits, especialmente en las zonas agrícolas de la cuenca.

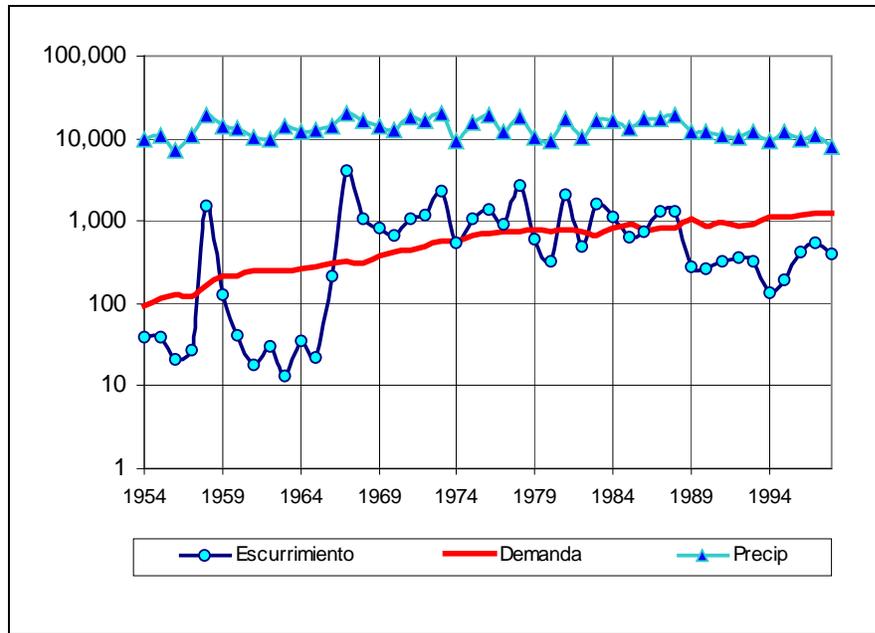
Cuadro III. 23. Componentes del balance hidráulico de las subcuencas del río San Juan²²

Subcuenca		Cp	Ar	R	Im	Uc	Ev	Ab	CP Acum
F	Río Salinas (parte alta y media)	13.3				80.0		-66.7	13.3
E	Río Salinas (parte baja)	35.5		5.5		47.2		-6.2	48.8
A1	Río Pesquería (hasta su confluencia con el río Ayancual)	64.9				164.6		-99.7	113.7
A2	Río Ayancual (hasta su confluencia con el río Pesquería)	28.2		189.0		17.6		199.6	28.2
A3	Río Pesquería (hasta su confluencia con el río San Juan)	38.6	199.6			69.6		168.6	180.5
D1	Río Santa Catarina (hasta la confluencia con el río San Juan)	137.1		4.4				141.5	137.1
D2	Río San Juan (hasta confluencia con el río Santa Catarina)	39.0		2.2		31.0	0.7	9.5	39.0
D3	Río Ramos (hasta la confluencia con el río San Juan)	65.7	0.0	1.8		20.1	0.0	47.4	65.7
D4	Río San Juan (hasta confluencia con el río Pílon)	66.2	198.4			20.0		244.6	308.0
D5	Río Casillas	70.0				1.6		68.4	70.0
D6	Río Pílon	121.9	68.4			65.2		125.1	191.9
D7	Río San Juan (hasta la presa El Cuchillo)	131.9	372.4		88.3	157.7	133.0	301.9	631.8
B	Río San Juan (hasta su unión con el río Pesquería)	25.4	213.6	1.8		24.0		216.8	657.2
C	Río San Juan (hasta la presa Marte R. Gómez)	167.3	385.4	0.2		560.7	145.0	-152.8	1005.0
TOTAL		1005.0		204.9		1259.3	278.7		

A continuación, en la figura III. 43, se presenta la relación entre el escurrimiento, la demanda y la precipitación en el período 1954 - 1998.

Figura III. 51. Volumen de lluvia, escurrimiento y demanda de agua en la CRSJ (Mm³/año)

²² Fuente de información: GASIR, 1998. Las importaciones corresponden a Proyecto Linares - Monterrey.



En las siguientes figuras se muestra en forma esquemática, por medio del ancho de los ríos, el porcentaje aproximado de aportación “virgen” en cada tramo, de modo que el 100% corresponde al río San Juan en su confluencia con el Bravo.

Figura III. 52. Proporción con que se distribuye el escurrimiento promedio anual en la CRSJ

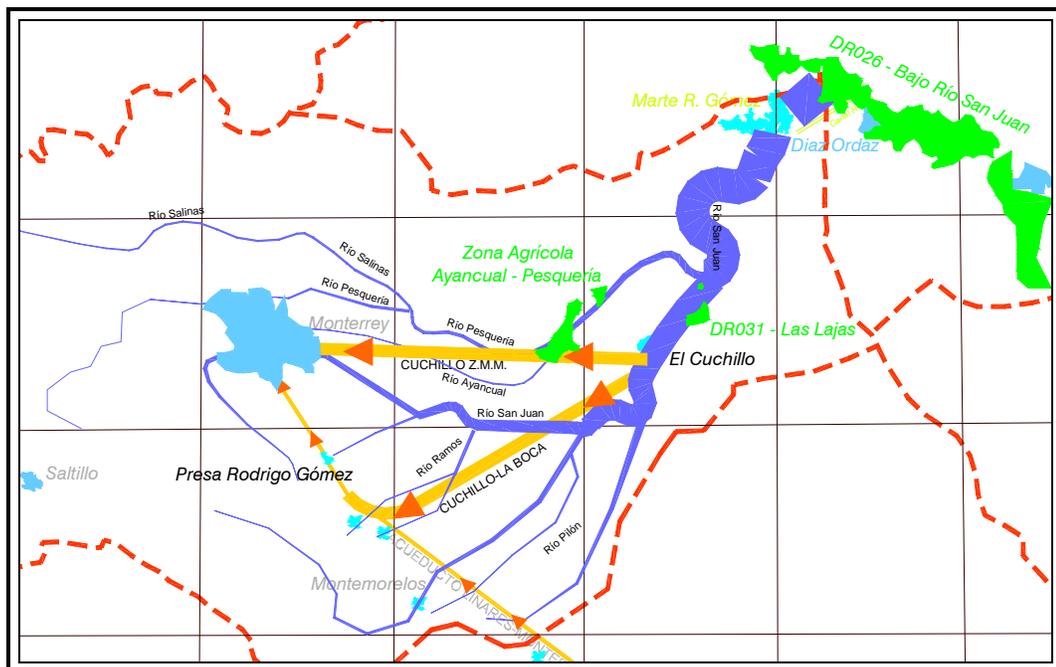
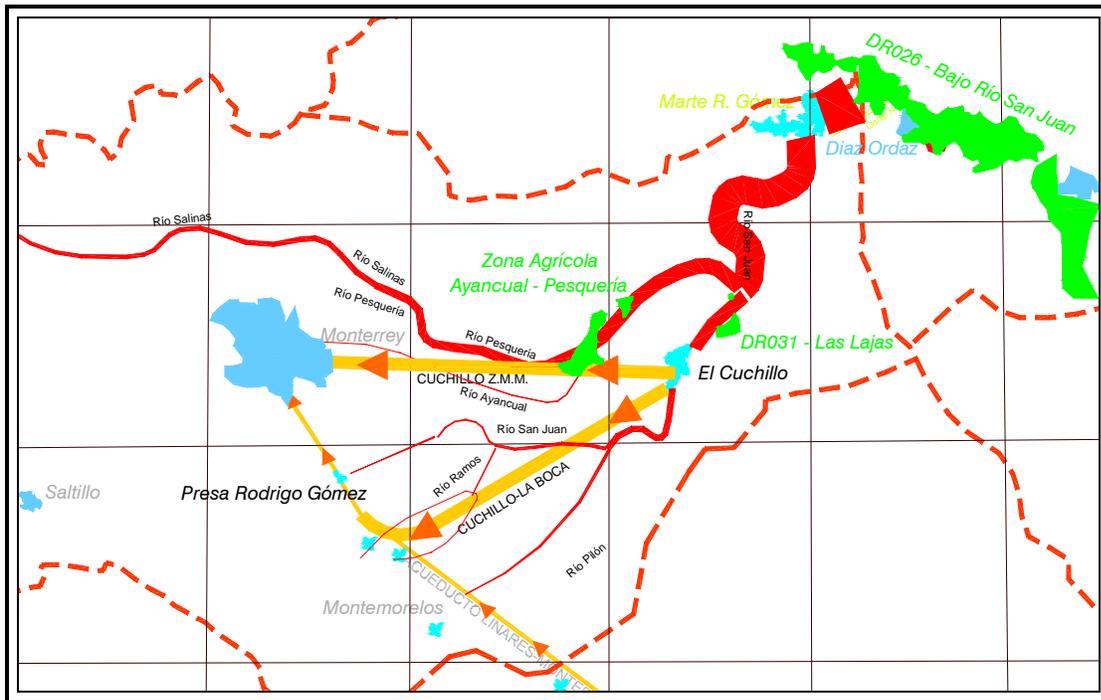
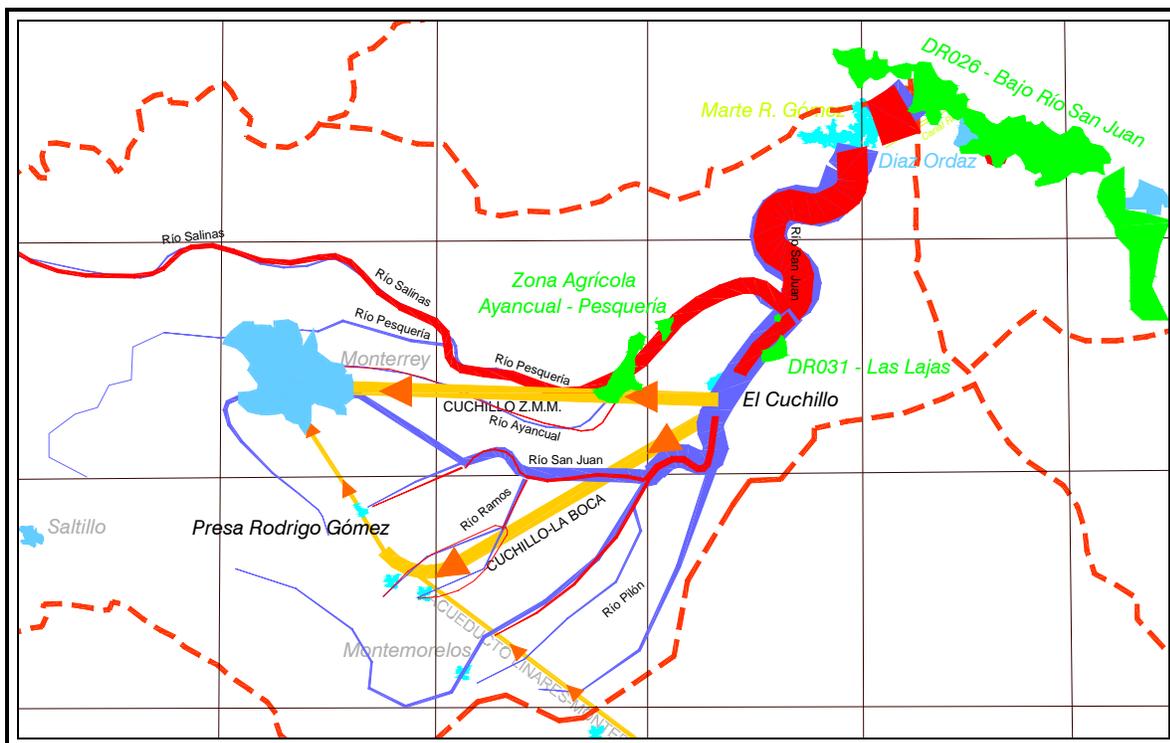


Figura III. 53. Demanda acumulada de agua superficial en la CRSJ



El escurrimiento “virgen” del río Pesquería es efímero, mientras que el escurrimiento actual modificado es perenne, debido al flujo de agua residual de la ZMM.

Figura III. 54. Comparación del escurrimiento “virgen”, con la demanda acumulada



Las condiciones de escurrimiento de la figura corresponden al promedio y en realidad, la probabilidad de que su magnitud sea excedida es del orden del 18%, pues se presenta la influencia de lluvias extraordinarias de baja probabilidad, como fue el huracán Gilberto. Resulta entonces evidente la crucial importancia de los grandes almacenamientos, que hasta 1999 ya presentaban una capacidad total, cercana a los 3,000 Mm³. De este modo, el abastecimiento de agua para fines agrícolas del DR026, resulta insuficiente si no se cuenta con almacenamientos en la presa Marte R. Gómez.

III.4. CALIDAD DEL AGUA²³

Se presenta contaminación procedente de desechos de las zonas urbanas, con residuos industriales y público – urbanos. Únicamente se tratan las aguas residuales en las ciudades de Monterrey y Saltillo, en la primera, con una capacidad total de tratamiento.

El análisis de la calidad del agua en los cauces se realiza mediante estaciones de monitoreo que describen las características en ciertos puntos. De acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas, la calidad de los cauces puede clasificarse mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA), que según la intensidad de los contaminantes y la utilidad del agua, la califican desde 0 hasta 100, donde el valor 100 representa una calidad “muy buena”.

Cuadro III. 24. Aspectos de la calidad del agua en corrientes de la subregión San Juan

Subregión Hidrológica	Principales corrientes	Índice de Calidad del Agua	Clasificación de disponibilidad
24 F. Río San Juan 	Río San Juan	50 Contaminado a Fuertemente contaminado	Todos los ríos se clasifican como Zona B, excepto las presas El Cuchillo y La Boca, ubicadas sobre el río San Juan, que son fuentes de abastecimiento para la Zona Metropolitana de Monterrey
	Pesquería	20 a 50	
	Río Santa Catarina		
	Arroyo Los Patos		
	Río Pilón		
	Río Ramos		

De acuerdo con el criterio del ICA, los ríos Pesquería y San Juan, son los que padecen de una mayor contaminación en la subregión San Juan (Figura III. 55).

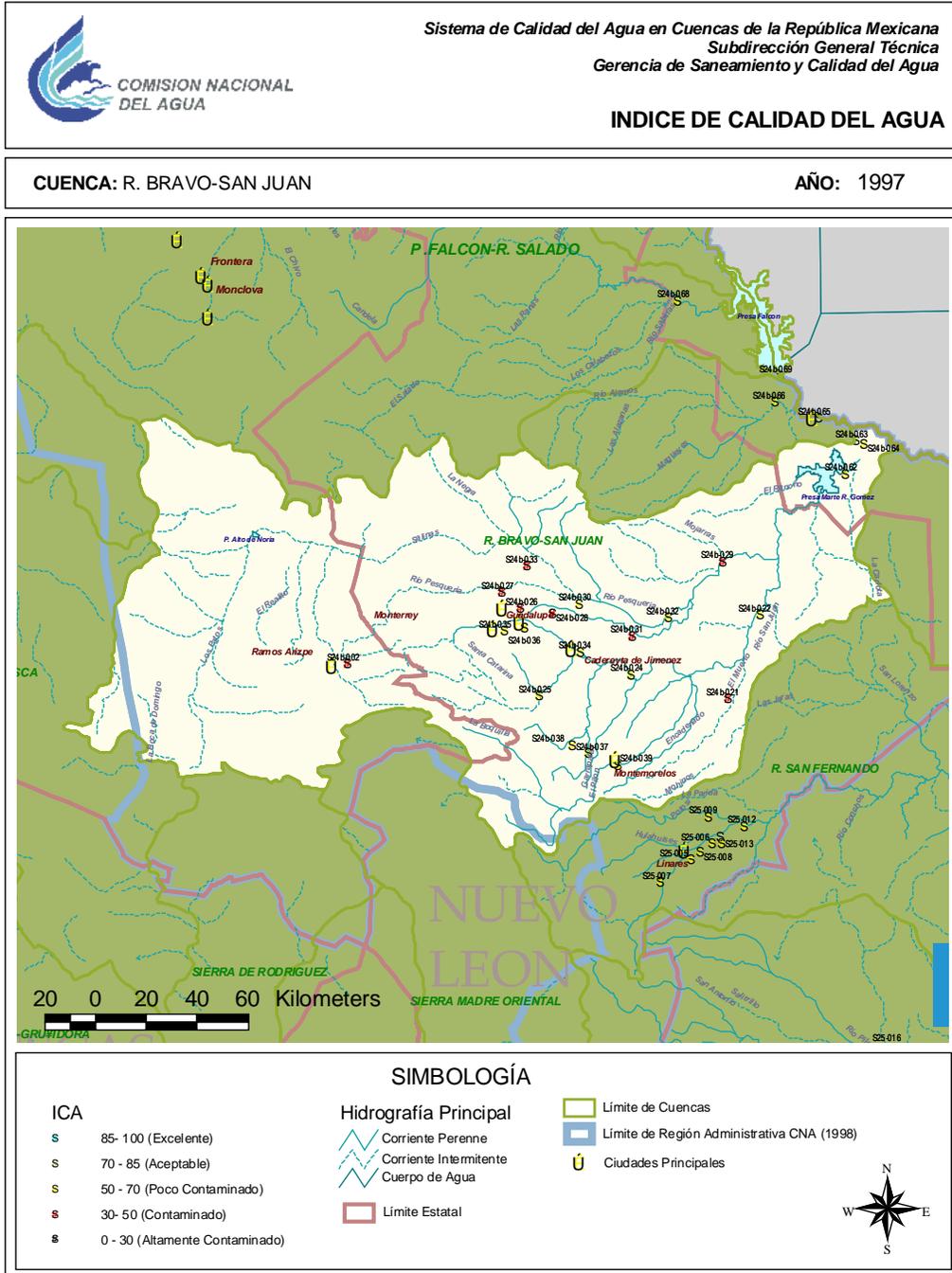
Según la tolerancia a los contaminantes, las zonas pueden clasificarse desde A hasta C, donde las primeras presentan una mayor resistencia y las últimas, mínima.

Cuadro III. 25. Características generales de las plantas de tratamiento de la subregión San Juan

Región Hidrológica	Subregión Hidrológica	Estado	Plantas de tratamiento	Q _{máx} l/s	Q _{real} l/s	Eficiencia
24 Bravo - Conchos	24 F San Juan	Coahuila	22	12154	6353	40 - 99
		Nuevo León				
		Tamaulipas				
Subtotal	24 Bravo - Conchos		22	12154	6353	40 - 99
25 San Fernando - Soto La Marina	25 A. San Fernando	Nuevo León	2	120	58	50 - 73
	25 B. Soto La Marina	Nuevo León	0	0	0	-
Subtotal	25 San Fernando - Soto La Marina		2	120	58	-
Total Regional			24	12274	6411	-

²³ Ref. CNA, 2000, Programa hidráulico Regional de la Región Río Bravo.

Figura III. 55. Índice de Calidad del Agua reportado en las estaciones de monitoreo en 1997



De acuerdo con esta clasificación, la generalidad de los ríos de la CRSJ, pertenecen a una zona tipo B, con excepción de las presas que abastecen agua potable a la Zona Metropolitana de Monterrey.

Al considerar que la generación de agua residual en la Subregión San Juan es de 18.9 m³/s, ante una capacidad de tratamiento real de 8.5 m³/s, se concluye que la capacidad instalada no permite el tratamiento de más del 44% del agua residual generada.

Las Normas Oficiales Vigentes a partir de 1996, propusieron el gradual tratamiento del agua residual de la totalidad de las descargas del país. En la subregión San Juan, se propuso el tratamiento inmediato y a corto plazo, de las aguas residuales de Monterrey y Saltillo.

CAPITULO IV. EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO
HIDRAULICO EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN

INDICE TEMATICO

IV.	<i>Evaluación de alternativas para el aprovechamiento hidraulico en la Cuenca del Río San Juan</i>	73
IV. 1.	<i>Causas de la insuficiencia de agua en la Cuenca del Río San Juan</i>	73
IV. 1. 1.	<i>Las sequías</i>	74
IV. 1. 2.	<i>El uso ineficiente del agua</i>	77
IV. 1. 3.	<i>La Insuficiencia de recursos económicos</i>	78
IV. 1. 4.	<i>La Deficiencia en participación social e institucional</i>	80
IV. 2.	<i>Consecuencias de la insuficiencia de agua en la Cuenca del Río San Juan</i>	80
IV. 2. 1.	<i>Los Daños al ambiente</i>	80
IV. 2. 2.	<i>Los Compromisos legales</i>	80
IV. 2. 3.	<i>La Competencia por el agua y conflictos entre usuarios</i>	80
IV. 3.	<i>Acciones realizadas para mitigar los impactos de la presa El cuchillo</i>	82
IV. 4.	<i>Objetivos de las acciones por realizar para la CRSJ</i>	84
IV. 5.	<i>Interrelación de las acciones</i>	86
IV. 6.	<i>Clasificación general de las acciones para cada centro de demanda</i>	87
IV. 7.	<i>Acciones sobre la oferta</i>	89
IV. 7. 1.	<i>Importación de agua desde cuencas externas hacia la del Río San Juan</i>	89
IV.7.1.1.	<i>Importación desde la presa Falcón hasta la ZMM</i>	90
IV.7.1.2.	<i>Importación desde la Presa Venustiano Carranza hasta la ZMM</i>	91
IV.7.1.3.	<i>Importación de agua desde el Bajo Río Bravo, aguas abajo de la presa Falcón, hasta la ZMM</i>	91
IV.7.1.4.	<i>Importación desde el acuífero tamaulipeco Río Bravo, Zona Norte, hasta la ZMM</i>	92
IV.7.1.5.	<i>Importación desde la cuenca del río San Fernando hasta la ZMM</i>	92
IV.7.1.6.	<i>Importación desde la Cuenca del río Soto la Marina hasta la ZMM</i>	93
IV.7.1.7.	<i>Importación desde la Cuenca del río Pánuco hasta la ZMM</i>	94
IV.7.1.8.	<i>Importación desde la Cuenca del Río Valles, afluente del Río Pánuco hasta la ZMM</i>	95
IV.7.1.9.	<i>Desalinización de agua del Golfo de México e importación hasta la ZMM</i>	95
IV.7.1.10.	<i>Alternativas de importación de agua a la Ciudad de Saltillo</i>	95
IV. 7. 2.	<i>Tratamiento y uso del agua residual</i>	96
IV. 7. 3.	<i>Aprovechamiento de agua subterránea disponible en la CRSJ</i>	96
IV. 7. 4.	<i>“Presas Subterráneas” y recarga artificial de acuíferos</i>	97
IV. 7. 5.	<i>Reducción de fugas en la distribución</i>	97
IV. 7. 6.	<i>Rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura</i>	97
IV. 7. 7.	<i>Manejo de cuencas</i>	97
IV. 8.	<i>Acciones sobre la demanda</i>	98
IV. 8. 1.	<i>Incremento de la eficiencia para uso público urbano</i>	98
IV.8.1.1.	<i>Reducción de consumos en el uso público urbano</i>	98
IV. 8. 2.	<i>Incremento de la eficiencia en el uso del agua para fines agrícolas</i>	98
IV.8.2.1.	<i>Tecnificación del riego</i>	98
IV.8.2.2.	<i>Cambio de cultivos</i>	98
IV.8.2.3.	<i>Consolidación de las zonas agrícolas</i>	99
IV.8.2.4.	<i>Compactación de áreas agrícolas</i>	99
IV.8.2.5.	<i>Modernización de la infraestructura</i>	99
IV.8.2.6.	<i>Modernización de las Técnicas de riego</i>	99

IV. 8. 3. Normatividad usos – calidad _____	99
IV. 8. 4. Regularización de aprovechamientos y depuración de usuarios clandestinos _____	99
IV. 8. 5. Compra de derechos _____	100
IV. 8. 6. Campañas de comunicación _____	101
IV. 9. Efecto de las acciones en diversos ámbitos físicos y sociales _____	101
IV. 10. Costo de las acciones _____	106
IV. 10. 1. Costo de las acciones necesarias para el uso y la distribución eficiente del agua _____	106
IV. 10. 2. Costo de los proyectos de transferencia de agua _____	107

INDICE DE FIGURAS

Figura IV. 1. Diagrama de causas y efectos de la insuficiencia de agua en la CRSJ _____	73
Figura IV. 2. Incidencia de sequías en los estados más áridos del país (1936 – 1975) _____	74
Figura IV. 3. Esguerrimiento “virgen”, crecimiento de demanda e impactos por escasez en la CRSJ ____	74
Figura IV. 4. Promedios móviles mínimos de esguerrimiento anual que ingresó a la Presa M. R. G. ____	76
Figura IV. 5. Situación del uso de agua y su pérdida por fugas en el sector agrícola _____	77
Figura IV. 6. Volumen de fugas de agua potable calculado para cada municipio _____	78
Figura IV. 7. Eficiencia comercial estimada en cada municipio involucrado con la CRSJ (LEDHRVI) _	79
Figura IV. 8. Beneficios y costos marginales por el uso del agua, según usos más redituables _____	81
Figura IV. 9. Localización de infraestructura involucrada con acciones de emergencia para mitigar los deficiencias en el DR026, Bajo Río San Juan _____	83
Figura IV. 10. Sistema de tratamiento de agua residual y ducto propuesto para restitución de 6m ³ /s al DR026, Bajo Río San Juan _____	84
Figura IV. 11. Diagrama de objetivos por cumplir mediante las alternativas propuestas _____	84
Figura IV. 12. Transferencia desde la presa Venustiano Carranza hasta la ZMM _____	91
Figura IV. 13. Importación desde los acuíferos de la cuenca del Bajo Río Bravo hacia la ZMM _____	92
Figura IV. 14. Alternativa de importación de agua desde el río Pánuco hasta la ZMM _____	94
Figura IV. 15. Pronóstico de un escenario de disponibilidad del agua residual de la ZMM _____	96
Figura IV. 16. Calificación de acciones por ámbito (5 = mayor dificultad, 1 = mínima) _____	104
Figura IV. 17. Restricción de acciones según distintos ámbitos (0% = mínima, 100% = máxima) ____	105
Figura IV. 18. Costos de distintas alternativas de importación de agua a distintos centros de demanda (incluyen tratamiento e indemnizaciones) _____	107
Figura IV. 19. Costo de las alternativas de abastecimiento al Distrito de Riego 026, Bajo San Juan __	108
Figura IV. 20. Costo de las alternativas de importación de agua a la Ciudad de Saltillo _____	109

INDICE DE CUADROS

Cuadro IV. 1. Descripción de las sequías reportadas en la Cuenca del Río San Juan 1910 - 1999 75	
Cuadro IV. 2. Clasificación general de las acciones _____	85

<i>Cuadro IV. 3.</i>	<i>Relación de las acciones con los grupos de usuarios identificados _____</i>	<i>85</i>
<i>Cuadro IV. 4.</i>	<i>Necesidad de participación ciudadana en las acciones – en orden creciente - _____</i>	<i>86</i>
<i>Cuadro IV. 5.</i>	<i>Interdependencia de acciones _____</i>	<i>86</i>
<i>Cuadro IV. 6.</i>	<i>Interdependencia de acciones, según los principales centros de demanda _____</i>	<i>87</i>
<i>Cuadro IV. 7.</i>	<i>Clasificación particular de las acciones _____</i>	<i>88</i>
<i>Cuadro IV. 8.</i>	<i>Ventajas y desventajas de los proyectos de importación de agua _____</i>	<i>89</i>
<i>Cuadro IV. 9.</i>	<i>Subcapítulos en que se describen las alternativas de importación _____</i>	<i>90</i>
<i>Cuadro IV. 10.</i>	<i>Alternativas de abastecimiento de la cuenca del río Soto la Marina para la CRSJ 93</i>	
<i>Cuadro IV. 11.</i>	<i>Características de los acuíferos próximos a la Ciudad de Saltillo _____</i>	<i>95</i>
<i>Cuadro IV. 12.</i>	<i>Ejemplo de tasas porcentuales relativas a acciones sobre la demanda _____</i>	<i>102</i>
<i>Cuadro IV. 13.</i>	<i>Ambitos de comparación de las alternativas _____</i>	<i>103</i>
<i>Cuadro IV. 14.</i>	<i>Factibilidad de las acciones y efectos notables en los ámbitos propuestos _____</i>	<i>103</i>
<i>Cuadro IV. 15.</i>	<i>Calificación de acciones por ámbito (5 = mayor dificultad, 1 = mínima) _____</i>	<i>104</i>
<i>Cuadro IV. 16.</i>	<i>Ponderación de ámbitos para cinco diferentes escenarios _____</i>	<i>104</i>
<i>Cuadro IV. 17.</i>	<i>Calificación ponderada de las acciones en cada ámbito, criterio combinatorio _____</i>	<i>105</i>

IV. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO HIDRAULICO EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

En este capítulo se definen y clasifican las acciones necesarias para promover el desarrollo hidráulico en la Cuenca del Río San Juan, así como su interrelación física, sus restricciones y sus costos.

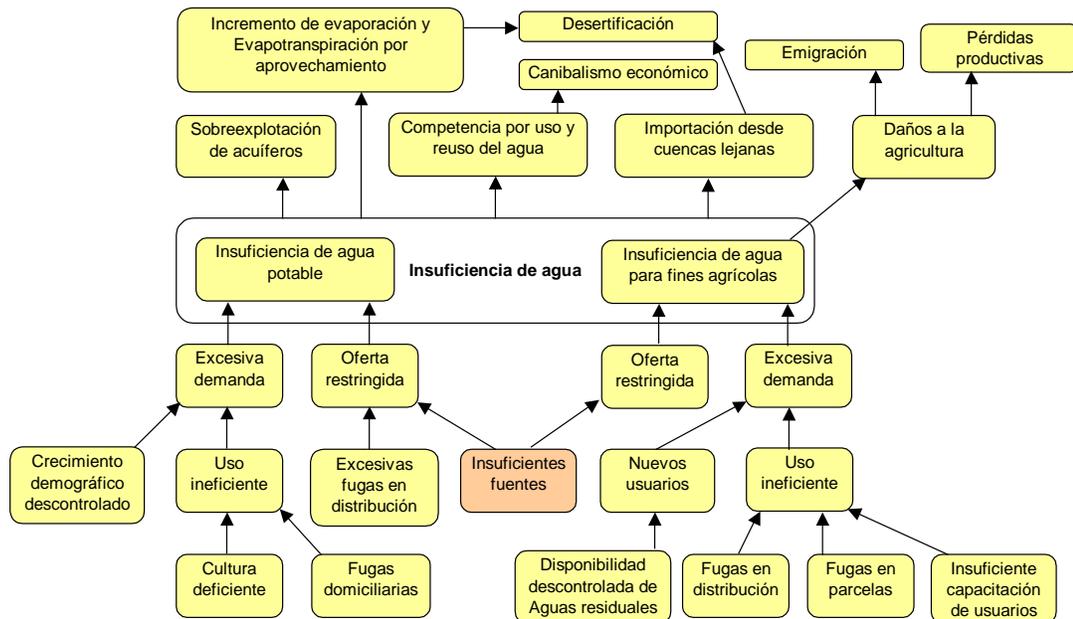
La frecuente incidencia de sequías y el crecimiento de la demanda de agua potable para consumo humano, fomentan la escasez de agua en la zona de estudio. La escasez es mayor de lo que sería si se lograra un uso eficiente, racional y coordinado del agua.

Para el futuro, la tendencia histórica proyecta un crecimiento de la demanda para uso público y urbano, que implica la necesidad de realizar acciones para un uso racional del agua, así como un incremento de su oferta.

IV. 1. CAUSAS DE LA INSUFICIENCIA DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

En la figura IV. 1 se muestra el modo en que los habitantes de la CRSJ, contribuyen a la insuficiencia de agua, así como las consecuencias de la escasez de dicho recurso¹.

Figura IV. 1. Diagrama de causas y efectos de la insuficiencia de agua en la CRSJ²



A continuación se describen algunas causas de escasez de agua en la CRSJ, así como otras, que intensifican sus consecuencias.

¹ Metodología ZOPP, a partir de la cual se relacionan problemas con objetivos cuantificables y se proponen soluciones.

² Se denomina "canibalismo económico" a la toma ciega de decisiones, que vela por los beneficios económicos máximos del uso del agua.

IV. 1. 1. Las sequías

Una sequía es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación en un período es menor que el promedio y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas. Además de reducir la disponibilidad del agua, este fenómeno aumenta la necesidad de dicho líquido en los seres vivos.

Por medio del ajuste de funciones de probabilidad a la distribución de frecuencias correspondiente a los registros anuales de escurrimiento y precipitación, se establecieron parámetros descriptivos de la importancia de las sequías en la zona de estudio. Algunos de éstos (calculados para un período, desde 1936 hasta 1975), se describen en la figura IV. 2³.

Figura IV. 2. Incidencia de sequías en los estados más áridos del país (1936 – 1975)

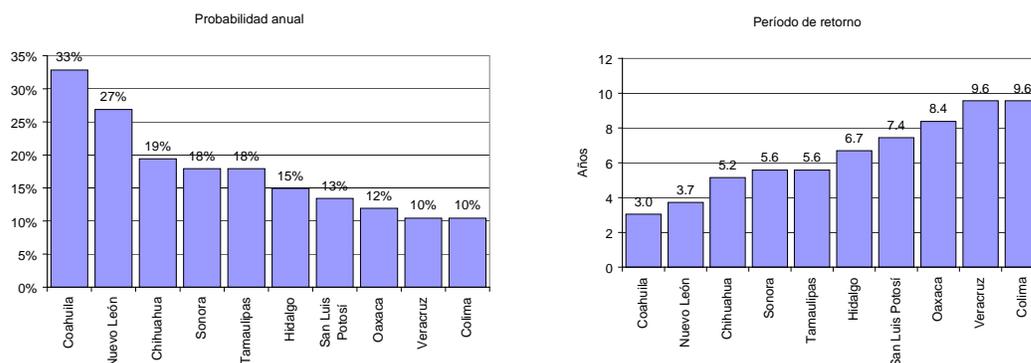
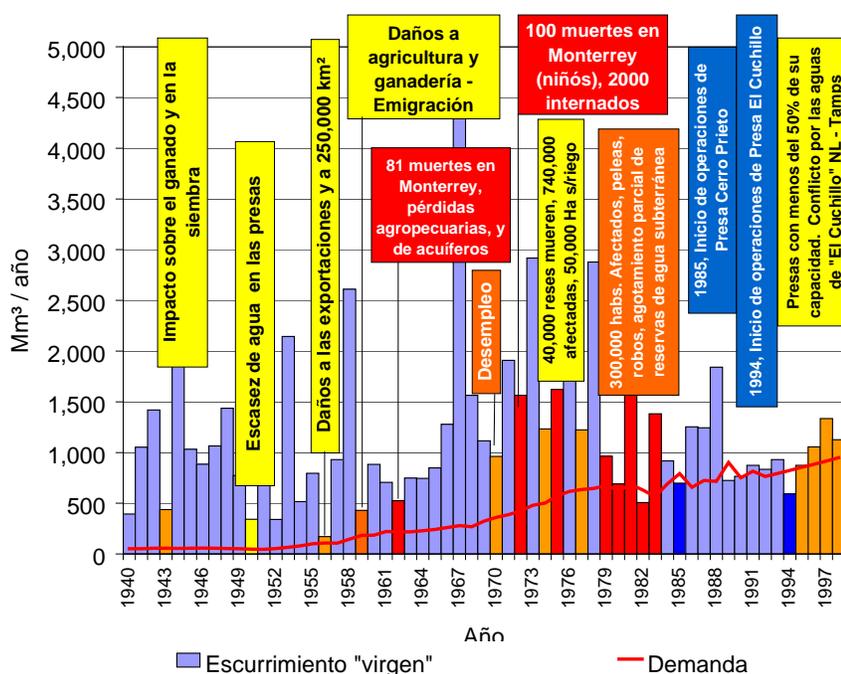


Figura IV. 3. Escurrimiento "virgen", crecimiento de demanda e impactos por escasez en la CRSJ



³ Estos cálculos corresponden al Análisis de sequías en México, realizado con datos de diversas estaciones hidrométricas, entre las cuales se encuentran: Ciénega de Flores, Ciudad Mier, Los Herreras, El Cuchillo, Montemorelos, San Antonio y San Fernando; y las estaciones climatológicas: Reynosa, Comales, Los Herreras, General Cepeda, Allende y San Fernando.

El cuadro IV. 1, describe los impactos de las sequías en la zona de estudio y en sus alrededores, durante el período de 1938 a 1999. La figura IV. 3, sintetiza la información del cuadro en una gráfica con el escurrimiento “virgen” total de la CRSJ y la demanda de agua.

Cuadro IV. 1. Descripción de las sequías reportadas en la Cuenca del Río San Juan 1910 - 1999

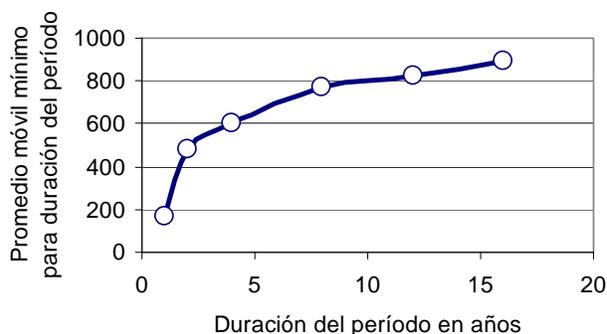
Año	Mes	Ubicación	Características - duración	Efectos económicos y sociales
1917	noviembre	ZMM	Persiste la sequía desde hace varios meses	En caso de que las lluvias lleguen se asegura abundante cosecha
1923	agosto	N. L.	Falta de lluvias	Las cosechas tardías no podrán sembrarse
1925	junio	N. L.	Intensa sequía	Incendio de bosques
1927	junio	N. L. , Coah.	Prolongada sequía que azota al norte del país desde hace ocho meses	Se calcula que han muerto más de 15,000 reses por falta de agua. De Coahuila están llevando ganado a los EE.UU. para venderlos a precios ínfimos.
1932	junio	N. L.	Terrible sequía azota al norte del país	Se cree que la cosecha será escasa
1935	marzo	Tamps.	Las lluvias han sido escasas.	Temen por las siembras de algodón.
1935	mayo	N. L.	Intensa sequía	El ganado ha sufrido pérdidas considerables y hay solicitudes al gobierno para que perfore norías. Se afectaron los cultivos.
1937	julio	N. L. , Monterrey, General Bravo y China	Terrible sequía que azotó el Estado durante varios meses.	Las siembras de temporal se perdieron. Los campesinos exigen al Presidente de la República se construyan presas. El ganado ha sido seriamente afectado. Hay crisis económica, pues los precios se han elevado y no hay empleo. Hace dos días que llueve.
1943	agosto	N. L. , Tamps. y Coah.	Sequía generalizada	En el norte se teme por las cosechas; el ganado se ha tenido que trasladar. En el resto del país las lluvias han sido escasas, como la siembra.
1950	agosto	N. L. y Tamps.	Intensa sequía que afecta al norte y que se prolonga desde hace seis años.	Escasez de agua en las presas.
1951	diciembre	Coah., N. L. y Tamps.	Intensa sequía	
1953	junio	Coah., N. L. y Tamps.	Sequía que afecta el norte del país.	Doscientas cincuenta mil hectáreas de algodón sembradas en Matamoros, se han perdido.
1957	septiembre	Coah.	Sequía desde hace 10 años	Se piensa realizar construcciones por valor de 795 millones de pesos.
1957	diciembre	N. L. y Coah.	Persistente sequía que se prolonga ya por varios años	Afecta aproximadamente a un cuarto de millón de kilómetros cuadrados. Descenso del nivel económico de esta región, por la baja en las exportaciones.
1960	junio	N. L. y Tamps.	Intensa sequía	Peligran los cultivos y la ganadería. De no llover, en Nuevo León miles de campesinos emigrarán.
1962	agosto	N. L. , Tamps. y Coah.	Seis meses de sequía y treinta y cuatro días de onda cálida. Es la más fuerte desde 1957.	81 muertes en Monterrey pérdidas de centenares de millones de pesos en la ganadería en Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.
1962	septiembre	N. L. , Tamps. y Coah.	Intensa sequía	El almacenamiento de agua en el Noreste del país debería ser de 4 mil 200 millones de metros cúbicos y apenas llega a 800 millones
1962	octubre	Coah., N. L. y Tamps.	Extrema sequía a causa de la deforestación.	Disminuyen los mantos acuíferos.
1970	mayo	nacional	Se organiza un plan de lucha contra la sequía	Se busca dar empleo a los desempleados en las zonas de desastre.
1972	julio	N. L. (Monterrey)	Onda cálida	Mueren cien niños deshidratados a causa de las altas temperaturas y hay más de dos mil internados.

Año	Mes	Ubicación	Características - duración	Efectos económicos y sociales
1974	julio	Coah.	Intensa sequía. Desde hace tres años no llueve.	El ganado perece y se estiman las pérdidas en 800 mil cabezas. Daños en las siembras de maíz y frijol.
1974	agosto	Coah.	Intensa sequía	Las pérdidas pasan ya de 30 millones de pesos
1975	abril	N. L. , Tamps., Coah.: Saltillo	La sequía se prolonga desde hace 24 meses. Coahuila es declarada zona de desastre,	En Nuevo León han muerto cerca de 40,000 reses. En Coahuila, si no llueve, morirán 600 000 cabezas de ganado vacuno, y en Tamaulipas 140,000, Las pérdidas ascienden a 100 millones de pesos.
1977	abril	N. L. , Tamps. y Coah..	Intensa sequía. De no llover la situación será grave	70 por ciento de las cosechas perdidas. El precio del ganado se ha desplomado. Se han dejado de sembrar cerca de 50,000 Ha
1977	agosto	N. L. , Norte.	Precipitaciones fuera de tiempo	Afectaron a la agricultura pues se dejaron de sembrar más de 25,000 Ha
1979		Monterrey	Colapso por falta de agua, deficiencias mayores a los permisibles	En toda la ciudad se disponía de abastecimiento durante 2 o 3 horas al día como máximo, más de 300,000 habitantes afectados. Peleas y robos.
1980 a 1983		Monterrey	Intensa Sequía de más de años de duración. 1983 crisis máxima histórica.	Reducción en productividad de acuíferos y galerías filtrantes: Cola de Caballo, San Francisco y La Estanzuela, desde 1,400 l/s reducen a 650 l/s; la Huasteca, desde 3,500 l/s a 1,700 l/s
1996 a 1997		Tamps.	Escasez para uso agrícola en los años de 1996 y 1997	El patrón de cultivos y la superficie regada del Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan, se vio afectada.
1998		Tamps. y N. L.	Temperaturas superiores a los 45° C en Nuevo León. Pérdida de cultivos que demandan dos riegos. Daños en Cítricos.	El director general de Desarrollo Agropecuario y Forestal de Tamaulipas menciona: "los tamaulipecos debemos aprender a vivir con el "cuchillo" clavado debido al conflicto que existe entre Tamaulipas y Nuevo León por las aguas de la presa "El Cuchillo".
1999	Enero	N. L.	Presas con menos del 50% de la capacidad útil, excepto la presa La Boca.	El Cuchillo, con 263 Mm ³ , es decir, sólo el 23% de su capacidad. La presa Cerro Prieto, con 160 Mm ³ , 50% de su capacidad; La Boca, con 84% de su capacidad

La duración de las sequías, define en gran medida los daños que ocasionan.

Un análisis de promedios móviles en el escurrimiento de ingreso a la Presa Marte R. Gómez (Figura IV. 4), refleja la incidencia de años secos consecutivos. El año con menor escurrimiento presentó menos de 200 Mm³, mientras que se registra un par de años con 500 Mm³ en promedio, cuatro años con 600 Mm³, ocho con 800 Mm³ y un período de 16 años con 900 Mm³.

Figura IV. 4. Promedios móviles mínimos de escurrimiento anual que ingresó a la Presa M. R. G.



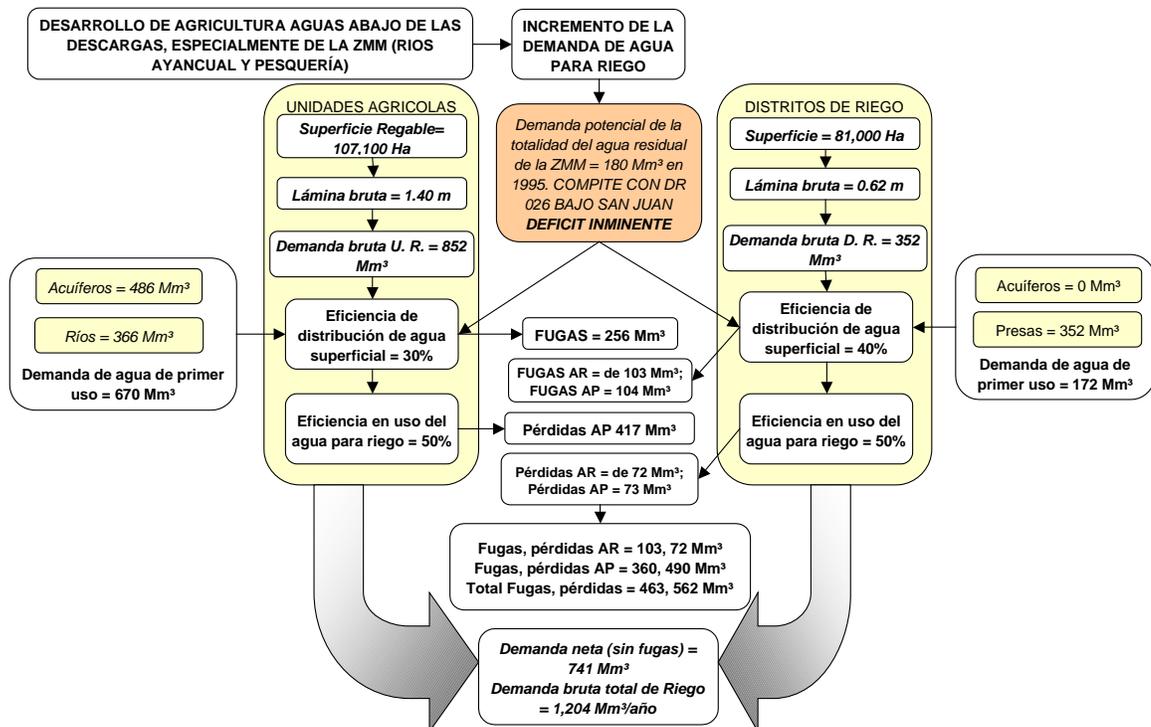
Cpacum.xls

IV. 1. 2. El uso ineficiente del agua

Tal como se menciona en el apartado de *usos del agua* del capítulo III, existe un alto índice de desperdicio de agua debido a la disposición ineficiente de dicho recursos, desde su captación hasta su distribución.

A continuación, la figura IV. 5, presenta en forma esquemática la situación del uso agrícola, así como sus fugas y su relación con el consumo de agua residual tratada, de acuerdo con la condición promedio de balance hidráulico, calculada en el año de 1995, por la CNA.

Figura IV. 5. Situación del uso de agua y su pérdida por fugas en el sector agrícola

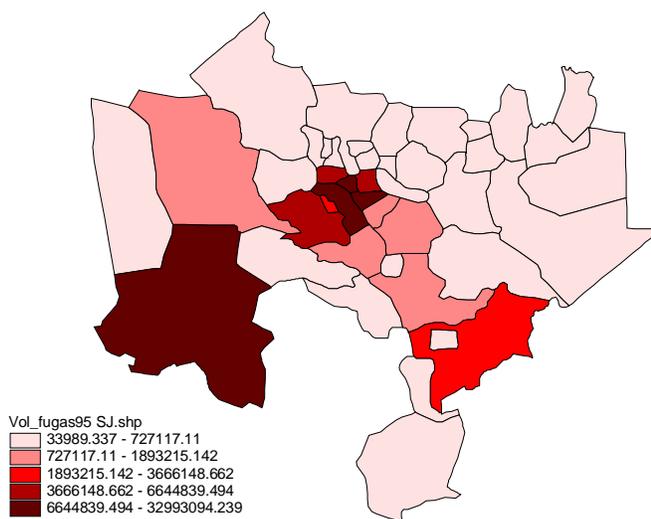


problemática.xls

Resulta notable, que ante eficiencias de distribución que fluctúan entre el 30% y el 40% de eficiencia, se pierde un total de 463 Mm³, donde los Distritos de Riego pierden cerca de 104 Mm³ de agua de primer uso. Dichas pérdidas teóricamente podrían reducirse al menos a la mitad, con un sistema eficiente de distribución.

En correspondencia con el apartado del capítulo III, concerniente a uso público – urbano del agua, para el año de 1995 se registró un porcentaje de fugas en la subregión, del orden del 39%; dichas demandas corresponderían a los volúmenes reportados en la figura IV.6. Estos registros no aplican en la ZMM, donde el índice de fugas se estima en 10%; sin embargo, involucran un volumen total del orden de 330 Mm³ ; que al igual que en el caso de la agricultura, en condiciones eficientes reducirían el desperdicio a la mitad.

Figura IV. 6. Volumen de fugas de agua potable calculado para cada municipio



De este modo, la reducción de las fugas al 50% de su condición en 1995 (condición técnicamente posible) representaría un ahorro de aproximadamente 400 Mm³.

IV. 1. 3. La Insuficiencia de recursos

económicos

Los recursos económicos determinan en gran medida la factibilidad de las acciones para el desarrollo hidrológico.

En nuestro país la situación económica en las últimas décadas, se caracterizó por una constante crisis que dificultó el desarrollo hidráulico estratégico. Las tácticas inmediatas para resolver problemas emergentes, han consumido la generalidad de los recursos monetarios.

Ya que la crisis económica es un problema nacional, inevitablemente la decisión de ejercer el presupuesto federal en un proyecto, implica el sacrificio o la prórroga de otro, ubicado en otro sitio del país, lo que representa precios "sombra", es decir, costos e impactos por no realizar a tiempo las obras ni asegurar su óptima operación y mantenimiento.

Una acción prioritaria es el desarrollo de programas para lograr la independencia económica de los usuarios. Como ejemplos se encuentra la transferencia de los Distritos de Riego y la concesión de autoridad administrativa a los organismos operadores y Consejos de Cuenca.

La insuficiencia de dinero para costear el suministro de agua, origina problemas y costos por carencia de dicho recurso. El pago puede provenir de los usuarios o del gobierno, pero su insuficiencia afecta el nivel de vida y conlleva a la demanda de nuevas inversiones para resolver afectaciones y marginación.

La solución para este problema se relaciona con: adecuación de tarifas y mejoramiento de sistemas de cobro, privatización de redes de distribución de agua potable, reducción de desperdicios, etc. Coloquialmente se culpa: al gobierno por no financiar ni cobrar y a los usuarios, por no pagar ni cuidar el agua. Se identifican también intereses políticos y legales en el manejo de tarifas, además de una costumbre en disponer de insuficientes recursos en la administración del agua y participación ciudadana⁴.

⁴ De acuerdo con un Estudio realizado en la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México, se determinó que un ciudadano, consume anualmente más dinero por consumir gomas de mascar, que lo que cuesta el agua que consume.

Es necesario que el abastecimiento de agua resulte un negocio redituable o parte de un negocio redituable. De otro modo contribuye al deterioro del desarrollo económico.

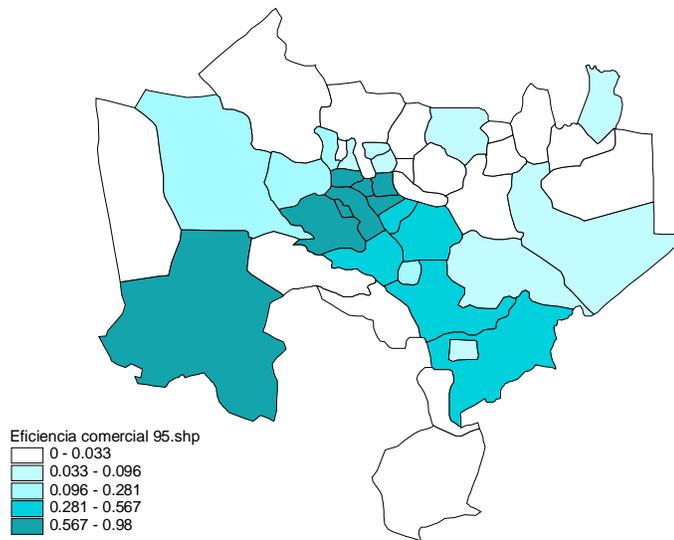
Al considerar como eficiencia comercial, el cociente del volumen cobrado entre el volumen facturado, se observa que especialmente en aquellos municipios que carecen de localidades semiurbanas o urbanas, la eficiencia comercial es mínima.

Volumen de extracción —————> Volumen facturado —————> Volumen cobrado

En cuanto a la eficiencia comercial en los municipios involucrados con la CRSJ, esta resulta muy variable y va del 62% al 98% en grandes ciudades y del 3% al 80% en ciudades medias. El costo promedio del agua es de \$ 2.00 por m³, correspondiendo \$ 1.62 por m³ al uso doméstico, \$ 3.79 por m³ uso comercial y \$ 6.33 por m³ para el uso industrial.

Solamente Monterrey tiene una cobertura total en micromedición, casi del 100%. Las grandes ciudades tienen las mayores coberturas de micromedición especialmente para los usuarios industriales. Las ciudades medias tienen menor cobertura de micromedición, desde menos del 1% hasta el 96%. En el medio rural la micromedición es prácticamente inexistente.

Figura IV. 7. Eficiencia comercial estimada en cada municipio involucrado con la CRSJ (LEDHRVI)



La mayoría de los municipios no cuenta con un sistema comercial que permita el pago del agua a su costo real, por lo que son indispensables los subsidios. Si la tarifa fuera de \$5.00 / m³ (del orden de la que se cobra en la ZMM) habría más de 25 municipios que en forma ponderada no podrían pagar ni siquiera \$2.00 / m³, debido a su ineficiencia comercial.

El sector agrícola depende en gran medida del agua gratuita o simbólicamente cobrada, mientras que el sector industrial requiere de una oferta constante que evite daños por insuficiencia de suministro. La producción industrial promedio en el año de 1995 en la ZMM, determinó un beneficio por cada metro cúbico de agua suministrada, del orden de \$64 / m³ (Ref. 12).

IV. 1. 4. La Deficiencia en participación social e institucional

La tarea de suministrar el agua a las poblaciones, a la industria y a las zonas agrícolas, requiere forzosamente de diversos grupos de gente encargada de asegurar que, tanto los usuarios como los operadores de la infraestructura y todas aquellas personas relacionadas con el suministro del agua participen en forma organizada.

Un grupo eficiente de trabajo, puede contribuir a que el aprovechamiento del agua cuente con: inspección, mantenimiento, asesoría, reparaciones, capacitación, etc.

El incremento de capacidad para controlar y suministrar en forma eficiente el agua depende de la integración de grupos de gente que representen y rijan socialmente, avocadas a dicho fin.

IV. 2. CONSECUENCIAS DE LA INSUFICIENCIA DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

IV. 2. 1. Los Daños al ambiente

El ambiente como un usuario no reclama sus derechos y ha sido subordinado a las crisis derivadas de las sequías; lo que causa problemas como:

- Desertificación
- Sobreexplotación de acuíferos (de gran importancia en la Ciudad de Saltillo)
- Contaminación de cuerpos de agua
- Proyectos de importación de agua desde cuencas externas
- Erosión debida al inadecuado uso de la tierra
- Pérdida de flora y fauna

Estos impactos hacen del ambiente un sitio cada vez más inhóspito y frágil.

IV. 2. 2. Los Compromisos legales

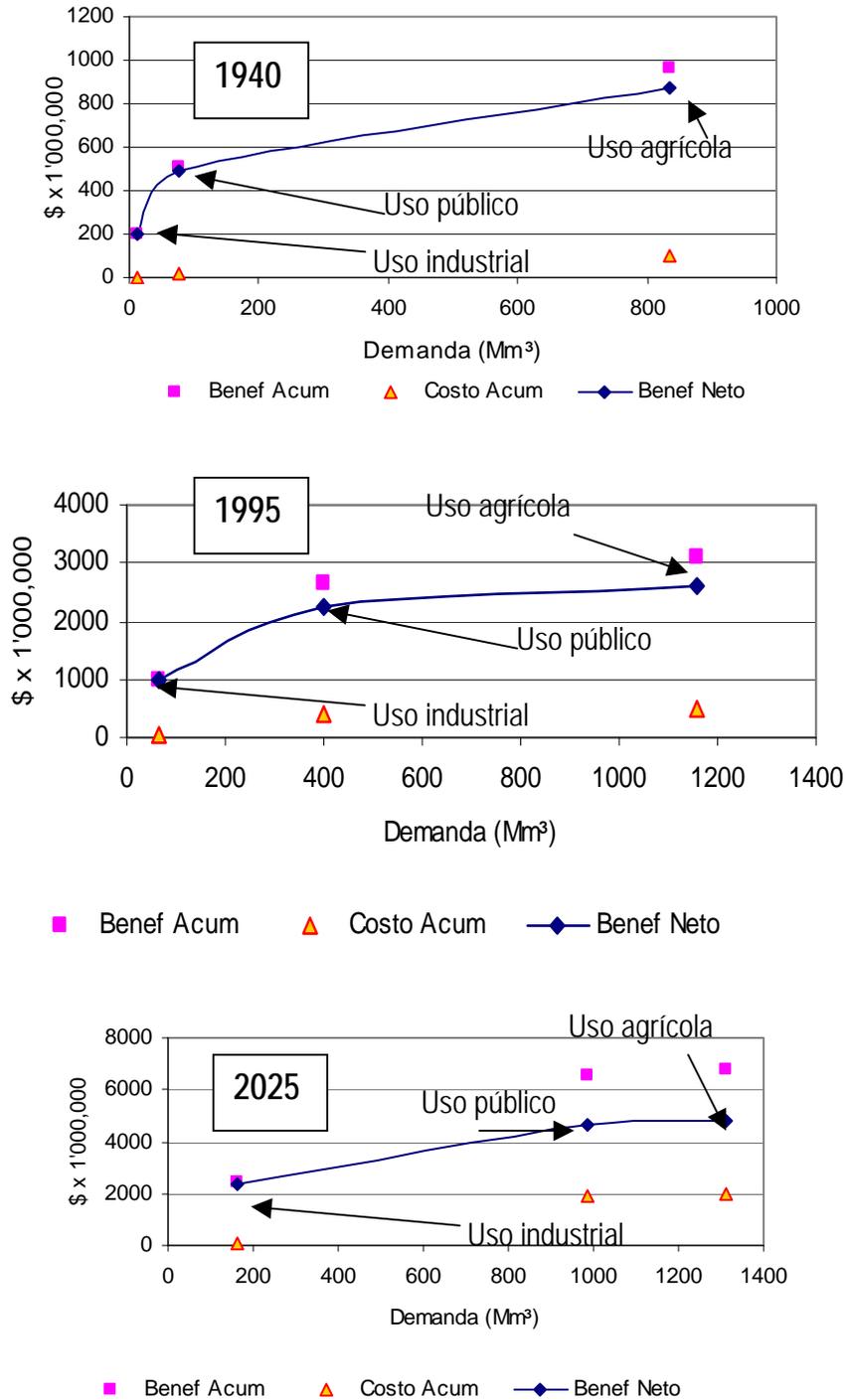
El desarrollo de nuevas acciones debe apegarse a la legislación y enriquecerla. Mientras surgen nuevos tratados, acuerdos, leyes, decretos y concesiones, los compromisos del agua y de su uso cambian, razón por la cual las acciones de aprovechamiento hidráulico no deben poner en riesgo el cumplimiento de estos preceptos. En algunos casos los derechos de agua concedidos rebasan la disponibilidad durante periodos de sequía.

IV. 2. 3. La Competencia por el agua y conflictos entre usuarios

Los conflictos entre usuarios reducen la cooperación en soluciones a problemas relacionados con el agua.

La figura IV. 8 muestra los beneficios marginales que el agua producía en los años de 1940, 1995 y para un escenario del año 2025.

Figura IV. 8. Beneficios y costos marginales por el uso del agua, según usos más redituables



Se aprecia cómo, los beneficios netos máximos se presentan para el uso industrial, luego, para el uso público – urbano y por último, para el agrícola. Se tomó en cuenta el potencial de aprovechamiento de agua residual de cada uso, establecido mediante criterios simplificados de beneficios y costos marginales por uso y suministro de agua.

La insuficiencia del agua, genera un escenario con inevitables precios sombra, donde suministrar el agua a cierto usuario, determina el sacrificio de otro. Por ejemplo, asegurar el suministro para Monterrey, pone en riesgo la disponibilidad de agua para riego en el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan.

Estas circunstancias han originado una rivalidad entre los usuarios, de modo que los líderes políticos la consideran como material para sus campañas.

La competencia conlleva a la marginación del uso agrícola, pues el uso público – urbano, es prioritario, no sólo por el costo que se paga por el agua⁵; sino por el hecho de que el uso de agua para consumo humano representa una prioridad básica no cuestionada⁶.

Una restricción que no se muestra en la figura previa, es la disponibilidad promedio de escurrimiento en la cuenca, que es del orden de 1,200 Mm³. Esta se reduce especialmente durante las sequías, de modo que el uso agrícola reduce su consumo y es marginado.

También resulta de importancia crucial el desarrollo descontrolado de usuarios agrícolas que aprovechan el agua residual vertida a los ríos Ayancual y Pesquería.

Durante los meses más calurosos, la necesidad de sistemas de refrigeración incrementa el costo de la energía eléctrica en la ZMM lo cual acentúa el interés por el aprovechamiento de aguas de la presa El Cuchillo, con respecto a las importaciones desde Cerro Prieto.

El efecto de la Presa El Cuchillo, al inicio de su operación casi llevó a las armas a los habitantes de Nuevo León y de Tamaulipas, ya que los últimos resintieron el efecto de la sequía y notaron que la ZMM, impedía el paso del agua hacia Tamaulipas. Esta situación, en todo el mundo se apreció como un “preludio de las guerras por el agua”, agudizado por la insensibilidad de los medios de comunicación, que alimentaron la insensibilidad de los habitantes, con respecto a la importancia de la armonía social, con lo cual se complican los futuros acuerdos.

Comentarios como: “Vivimos con el Cuchillo clavado” – Tamaulipas – o “El Cuchillo es de Monterrey” – Nuevo León –, u otros como “Fue un gran proyecto ya que se benefició a tres millones de habitantes a cambio de afectar a cien mil”, reflejan la creciente insensibilidad, que considera como parte de las soluciones la transgresión de los derechos ajenos, causa de los conflictos entre los habitantes de la CRSJ.

De este modo, es necesario un marco de trabajo institucional y político, que ejecute las alternativas que impliquen un esfuerzo económico y social mínimo.

IV. 3. ACCIONES REALIZADAS PARA MITIGAR LOS IMPACTOS DE LA PRESA EL CUCHILLO

Ya que la construcción de la presa El Cuchillo, redujo la disponibilidad aguas abajo de dicho embalse, se realizaron obras hidráulicas de tratamiento y conducción; que consistieron en:

- a) Desincorporación de los sistemas de abastecimiento de agua potable de los canales del distrito 026, pues su operación demandaba de un flujo anual cercano a los 90 Mm³.
- b) Uso eficiente de la planta de bombeo en la presa derivadora Anzalduas.

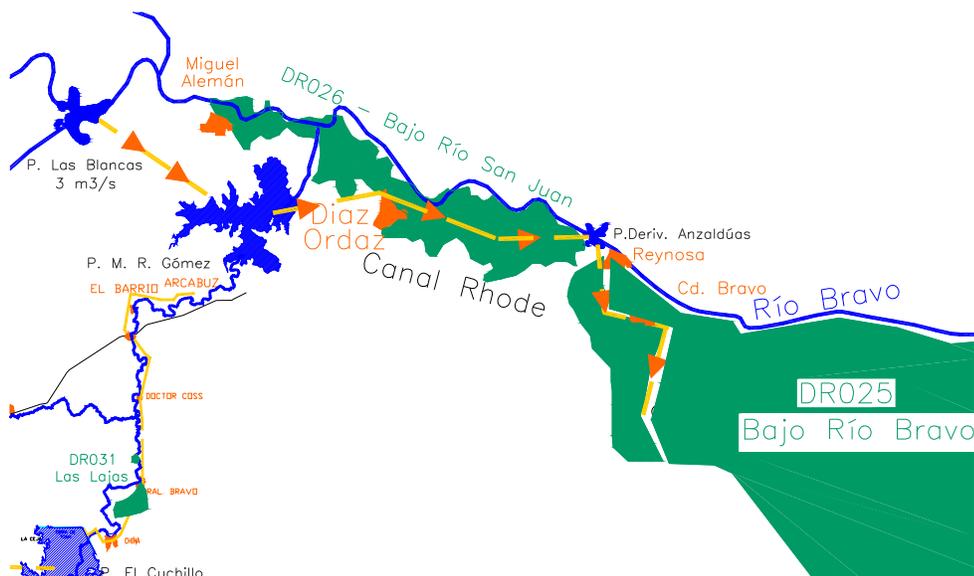
⁵ El volumen de agua aplicada para riego de una hectárea típica, con lámina anual de 60 cm, es suficiente para el abastecimiento de 80 personas.

⁶ Los daños por escasez en otros usos suelen evaluarse básicamente en forma económica, mientras que en el uso público urbano repercute directamente en la salud y el nivel de vida.

- c) Rehabilitación y modernización del Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan (ahorro de 32 Mm³ anuales).
- d) Control de la demanda de los distritos de riego 026 Bajo San Juan y 031 Las Lajas.
- e) Construcción de tres plantas de tratamiento con capacidad total de 8 m³/s (de 2.5 m³/s, 0.5 m³/s y 5 m³/s, respectivamente), para la totalidad de las aguas residuales de la ZMM.

La detección de usuarios clandestinos e ineficientes de agua residual junto a los ríos Ayancual y Pesquería, determinó la necesidad de construir un ducto de agua residual; que se consideró infactible debido a su elevado costo.

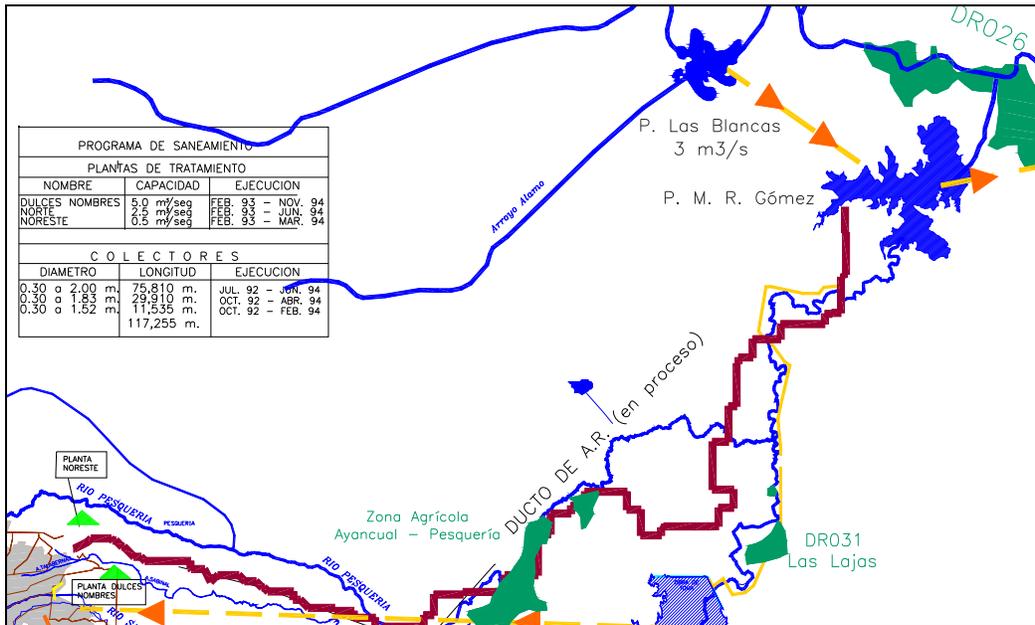
Figura IV. 9. Infraestructura involucrada en acciones de emergencia para mitigar las deficiencias en el DR026, Bajo Río San Juan



Para mitigar los impactos sobre la actividad agrícola del Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan, se construyó en el cauce de la cuenca vecina del río Alamo, la presa Las Blancas, misma que a partir de 1999, inició la exportación de un gasto del orden de 3 m³/s.

Además de las acciones descritas, se realizan y analizan nuevas soluciones en distintas localidades, con el apoyo del Consejo de Cuenca, de los habitantes y del Gobierno.

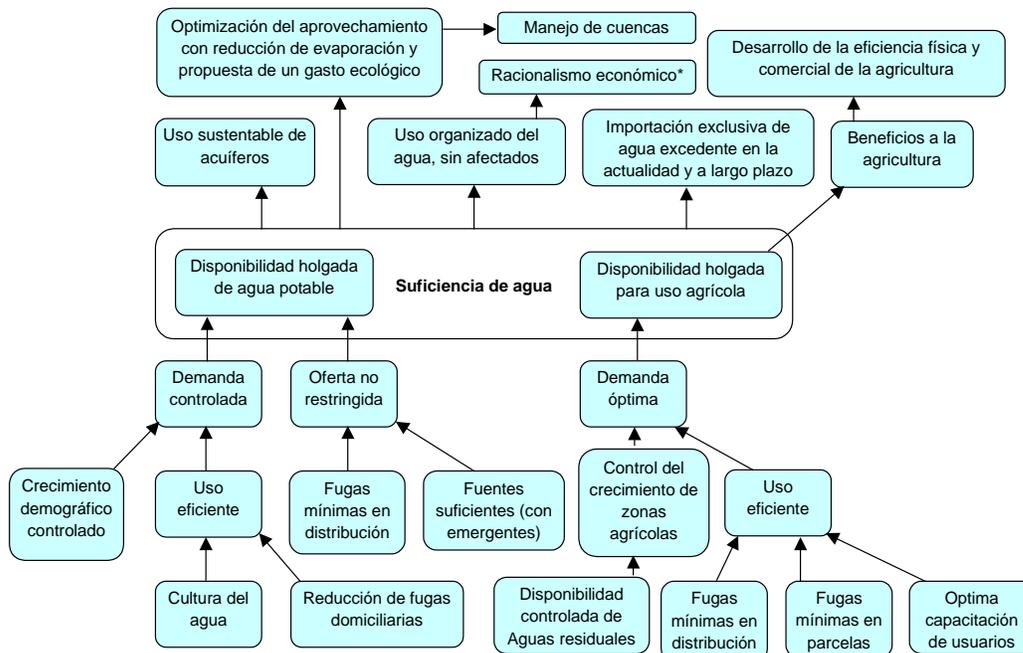
Figura IV. 10. Sistema de tratamiento de agua residual y ducto propuesto para restitución de 6m³/s al DR026, Bajo Río San Juan



IV. 4. OBJETIVOS DE LAS ACCIONES POR REALIZAR PARA LA CRSJ

Las causas y las consecuencias de los problemas relacionados con la insuficiencia de agua, definen riesgos que cambian día con día. En correspondencia con la Figura IV. 1, la siguiente presenta un diagrama de objetivos, relacionados con cada problema.

Figura IV. 11. Diagrama de objetivos por cumplir mediante las alternativas propuestas



* que la economía no se involucre dañinamente con ámbitos sociales, políticos ni ambientales

Para resolver los problemas observados, el conjunto de acciones necesarias se clasificó en dos tipos (Cuadro IV. 2), el primero, comprende a aquellas que inciden sobre la oferta, el segundo, sobre la demanda.

Cuadro IV. 2. Clasificación general de las acciones

Acciones	Oferta	Manejo de cuencas
		Tratamiento y reuso de agua residual
		Aprovechamiento de agua subterránea excedente
		Importación de agua desde cuencas externas
		Incremento en la eficiencia de la infraestructura de distribución
	Demanda	Normatividad usos – calidad
		Regularización de aprovechamientos
		Fortalecimiento de la capacidad de vigilancia y monitoreo
		Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo
		Compra de derechos

Los usuarios de la zona de estudio y su relación con las acciones se clasificaron tal como se muestra en el cuadro IV. 3.

Cuadro IV. 3. Relación de las acciones con los grupos de usuarios identificados

		Usuarios																
		Agrícola						Urbano										
		Pequeñas zonas agrícolas	Zona agrícola de Saltillo	Ayacuail - Pesquería	Montemorelos Agr + Cd	Cerro Prieto	D. R. 026 Bajo Río San Juan	D. R. 031 Las Lajas	D. R. 04 Don Martín	D. R. 058 Soto La Marina	D. R. 025 Bajo Río Bravo	Zona M. De Monterrey	Saltillo	Pequeñas ciudades				
Acciones																		
Acciones generales	Oferta	Manejo de cuencas																
		Incremento en la eficiencia de la infraestructura de distribución																
	Demanda	Regularización de aprovechamientos																
		Fortalecimiento de la capacidad de vigilancia y monitoreo																
		Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo																
Acciones específicas	Oferta	Tratamiento y reuso de agua residual + Normatividad usos - calidad		Tratamiento														
		Reuso																
		Importación de agua desde cuencas externas		Importación														
		Donación																
	Demanda	Aprovechamiento de agua subterránea excedente																
		Compra de derechos		Compra														

Alternativa necesaria
 Inminente
 Acción en proceso

IV. 5. INTERRELACIÓN DE LAS ACCIONES

Según la participación necesaria de los habitantes (Cuadro IV. 4), se identifican dificultades desalentadoras en: la regularización de aprovechamientos, la compra de derechos, el fortalecimiento de la capacidad de vigilancia y monitoreo y el manejo de cuencas.

Cuadro IV. 4. Necesidad de participación ciudadana en las acciones – en orden creciente -

Aprovechamiento de agua subterránea excedente	
Incremento en la eficiencia de la infraestructura de distribución	
Importación de agua desde cuencas externas	Importación
	Donación
Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo	
Tratamiento y reuso de agua residual + Normatividad usos - calidad	Tratamiento
	Reuso
Regularización de aprovechamientos	
Compra de derechos	Compra
	Venta
Fortalecimiento de la capacidad de vigilancia y monitoreo	
Manejo de cuencas	

A su vez, la donación, la venta de derechos, el tratamiento y el fortalecimiento de la vigilancia resultan ser acciones fundamentales (Cuadro IV. 5).

Cuadro IV. 5. Interdependencia de acciones⁷

Manejo de cuencas	Tratamiento
Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo	Fortalecimiento de la capacidad de vigilancia y monitoreo y regularización de aprovechamientos
Incremento en la eficiencia de la infraestructura de distribución	
Reuso de agua residual + <i>Ayuncual - Pesquería</i> <i>Zona agrícola de Saltillo</i> <i>D. R. 026 Bajo Río San Juan</i> <i>Zona M. De Monterrey</i>	Tratamiento en la Zona M. De Monterrey
<i>Saltillo</i>	
<i>Pequeñas ciudades</i> <i>Montemorelos Agr + Cd</i>	Tratamiento
Importación de agua desde cuencas externas	Donación
<i>D. R. 026 Bajo Río San Juan</i>	<i>Cerro Prieto</i>
<i>Zona M. De Monterrey</i>	<i>D. R. 04 Don Martín</i>
<i>Saltillo</i>	<i>D. R. 058 Soto La Marina</i>
Compra de derechos	Venta
<i>Zona M. De Monterrey</i>	<i>Ayuncual - Pesquería</i>
	<i>D. R. 026 Bajo Río San Juan</i>
	<i>Cerro Prieto</i>
	<i>D. R. 031 Las Lajas</i>
	<i>Montemorelos Agr + Cd</i>
	<i>D. R. 04 Don Martín</i>
	<i>D. R. 058 Soto La Marina</i>
<i>D. R. 025 Bajo Río Bravo</i>	
<i>Saltillo</i>	<i>Zona agrícola de Saltillo</i>

⁷ La columna derecha muestra cuáles son las acciones de las que depende el buen término de las de la izquierda y los colores representan la complejidad descrita en el cuadro IV. 4.

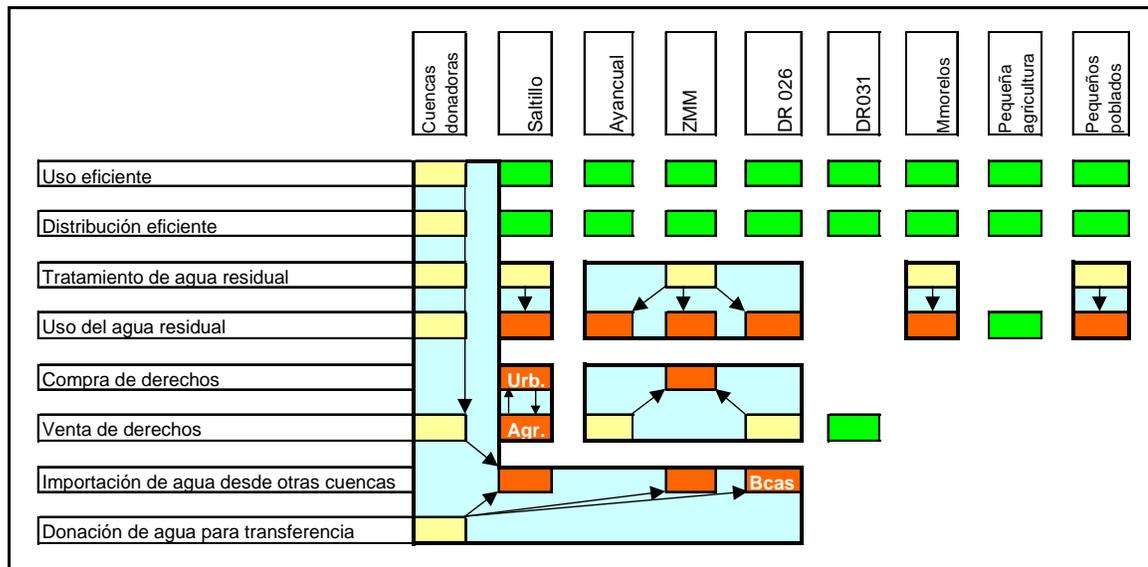
La mayoría de las acciones para reducir la escasez, funcionan mejor en conjunto, siempre y cuando se coordinen para realizarse con una óptima magnitud e intensidad.

El saneamiento, el tratamiento del agua, la identificación de cuerpos de agua donadores y el establecimiento de un mercado del agua, son acciones fundamentales para: el reúso del agua, el aprovechamiento de nuevas fuentes y la compra y transferencia de derechos del agua.

IV. 6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS ACCIONES PARA CADA CENTRO DE DEMANDA

Un objetivo básico de los planes de desarrollo, es evitar la dependencia de las acciones, especialmente cuando ésta constituye un riesgo para su utilidad. En el siguiente cuadro se describe para cada centro de demanda, la dependencia entre algunas acciones.

Cuadro IV. 6. Interdependencia de acciones, según los principales centros de demanda⁸



Existe posibilidad de que se ayuden entre sí: las cuencas donadoras, Saltillo, la Zona Metropolitana de Monterrey, los agricultores de las zonas de Ayancual y los del Distrito de Riego 026; mientras que los pequeños usuarios urbanos y agrícolas, así como los del Distrito de riego 031 y Montemorelos, aún no pueden interactuar en forma directa.

La clasificación de acciones del cuadro IV. 2, se desglosa en forma similar a la que se presenta a continuación, en el cuadro IV. 7, que representa una versión preliminar de la clasificación de las acciones puntuales contempladas para la CRSJ.

⁸ Los contornos representan conjuntos de acciones que dependen simultáneas. Las que se encuentran con un color naranja, son las acciones dependientes. Las acciones básicas de las se representan con un color amarillo, la relación entre acciones básicas y dependientes se esquematiza con una flecha. Los cuadros verdes representan acciones independientes.

Cuadro IV. 7. Clasificación particular de las acciones

		Acción		
Acciones	Incremento de la oferta	Manejo de cuencas		
		Tratamiento y reuso de agua residual	Tratamiento y reciclaje de la totalidad del agua residual de la ZMM	
			Tratamiento y reciclaje del 50% del agua residual de la ZMM	
		Aprovechamiento de agua subterránea excedente de la CRSJ	La Unión - General Terán / Acueducto Linares - Monterrey (ALM)	
			Manantial Tragadero / ALM	
			Manantial Las Adjuntas / ALM	
			San Francisco II - Sistema Santiago	
			Pajonal - Sistema Buenos Aires	
			Acuífero Mamullque	
			Acuífero Cerritos	
			Importación de agua desde cuencas externas	Agua subterránea
		Potrero Prieto - Galeana - ALM (Cca Sn Fdo)		
		Subálveo confluencia Potosí - Pablillo - ALM (Cca Sn Fdo)		
		Acuífero Bustamante (Río Bravo)		
		Acuífero Sabinas Hidalgo (Río Bravo)		
		Acuífero Pablillo - Sitio Las Cuevas - Cerro Prieto (Sn Fdo)		
		Acuífero Zaragoza - Arramberri - Cerro Prieto (Soto La Marina)		
		Manantial La Patria es Primero (El Porvenir) - Cerro Prieto (SLM)		
	Agua superficial	Transferencia desde presa Falcón (con transferencia de DR025)		
		Area de captación de la presa Falcón DR004		
		Almacenamiento en "presas subterráneas"		
		Presa Vicente Guerrero		
		Pánuco		
	Reducción de la demanda	Ahorro de agua para fines agrícolas	Consolidación de las zonas agrícolas - depuración de usuarios sin derecho, especialmente en Ayancual Pesquería -	
			Mant., Rehab. de Infraest. hidroagrícola	
			Tecnificación	
			Modernización	
			Cultivos de menor lámina	
			Capacitación y concienciación	
		Público urbano	Incremento en la eficiencia de distribución y uso de agua potable - concienciación, automatización, sectorización y control de fugas -	
Reducción de consumos				
Compra de derechos		DR026		
		DR025		
		DR Abasolo		
Normatividad usos - calidad				
Regularización de aprovechamientos				
Fortalecimiento en capacidad de vigilancia y monitoreo				
Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo				

IV. 7. ACCIONES SOBRE LA OFERTA

Se denominan acciones sobre la oferta, a aquellas que incrementan la extracción de agua desde las fuentes. En los próximos apartados se describen las siguientes acciones sobre la oferta.

- Importación de agua desde cuencas externas.
- Aprovechamiento de agua excedente en acuíferos, subálveos y aledaños de los vasos de almacenamiento.
- Reducción de pérdidas por: fugas, infiltración, evaporación y evapotranspiración.
- Optimización del aprovechamiento del agua subterránea.
- Aprovechamiento de agua residual tratada.
- Recarga artificial de acuíferos, presas subterráneas.
- Manejo de cuencas.

IV. 7. 1. Importación de agua desde cuencas externas hacia la del Río San Juan

Los proyectos de importación de agua desde cuencas externas, representan una alternativa que debido a los costos e impactos que involucran, pueden considerarse una acción no – convencional; sin embargo, en ciertos casos, los costos e impactos pueden solventarse y además, representan una alternativa de emergencia óptima.

Cuadro IV. 8. Ventajas y desventajas de los proyectos de importación de agua

Ventajas	Desventajas
A pesar de todos los inconvenientes, esta alternativa puede representar los impactos mínimos.	La interconexión hidrológica entre los cuerpos de agua y los usuarios será mayor y más sensible al modo en que se use la infraestructura
	Demandan de fuentes de abastecimiento y acciones para siniestros, en que no funcionen adecuadamente.
	Existe el riesgo de originar un nuevo déficit de la cuenca donadora
	Incertidumbre, ineficiencia, costos, e impactos ambientales, ecológicos y sociales, de gran magnitudes.
	A mayor tamaño, mayor ineficiencia. La distancia y el desnivel con el cual se transfiere el agua, pueden incrementar el riesgo de pérdidas en la conducción así como el trabajo necesario para lograr la transferencia

Las importaciones a su vez, requieren de tres tipos de acciones prioritarias en la cuenca beneficiada:

- * Mejorar la tecnología en el uso del agua y el reemplazo de las sectores que consumen más agua por otros que consumen menos agua ;
- * Un uso total del agua y un incremento en aprovechamientos de fuentes locales.
- * Una redistribución territorial de los aprovechamientos hidráulicos en la cuenca donadora, para evitar su perjuicio.

Para la CRSJ, la tendencia esperada en el crecimiento de la demanda, señala claramente la necesidad de implementar fuentes de abastecimiento externas a la cuenca propia, pues, el incremento en el uso eficiente representa una solución de corto plazo.

Generalmente, las cuencas que se estudian como posibles cuencas donadoras, emplean el agua para fines agrícolas. De este modo, es necesaria la compra de derechos del agua, la cual, más que un negocio, debe representar un acuerdo organizado entre los habitantes y los gobiernos, para evitar conflictos sociales.

Los acueductos y las presas que conforman parte de los proyectos de transferencia de agua desde una cuenca hasta otra, pueden aprovecharse posteriormente para la explotación de nuevas fuentes ubicadas en los alrededores de sus acueductos y embalses.

Los proyectos de importación de agua desde otras cuencas se describen parcialmente en el *Anexo C*, de estudios previos, mientras que el resto (cuadro IV. 8) a continuación.

Cuadro IV. 9. Subcapítulos en que se describen las alternativas de importación

Fuente de abastecimiento	Subcapítulo
Cuenca del Río Soto La Marina	Anexo C. 2. Estudios previos y
Presa Falcón	IV. 1. 1. Importación desde cuencas externas
Presa Venustiano Carranza	IV. 1. 1. Importación desde cuencas externas
Cuenca del río Pánuco	
Acuíferos de la Cuenca del Bajo Río Bravo	
Importación desde el Golfo de México	

Ya que la importación de agua constituye una alternativa que atañe principalmente a la ZMM, la mayoría de los proyectos descritos a continuación involucran a dicha concentración urbana.

IV.7.1.1. Importación desde la presa Falcón hasta la ZMM

Hacia el sudoeste y hacia el oeste de la CRSJ, las cuencas presentan problemas de disponibilidad. Las cuencas afluentes del Río Bravo, hasta el sitio de la presa Falcón, aprovechan prácticamente la totalidad del escurrimiento.

Las aguas del río Bravo, se rigen por el *Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y lo Estados Unidos de América, de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo*, con base en el cual se efectúa una contabilidad quinquenal, que cada vez que se llenan las presas La Amistad o Falcón, vuelve a comenzar. Hasta hace algunos años, la recurrencia de lluvias extraordinarias fue tal, que durante todos los periodos de contabilidad, la cuenta volvió a comenzar debido a que las dos presas internacionales se llenaron, pero en la década de los noventa la escasez de agua tuvo como consecuencia que el quinquenio se cumpliera y se determinó que México tenía una gran deuda de agua con los EUA, de alto costo (no es un costo comercial, sino de penalización, por daños a su producción).

El Distrito de Riego Acuña Falcón, se abastece con aguas del río Bravo, y en algunas ocasiones el aprovechamiento es tal, que se consume más agua que la que se genera en las áreas de captación mexicanas, lo que significa que entonces, las aguas que corren por el Bravo son de los EUA.

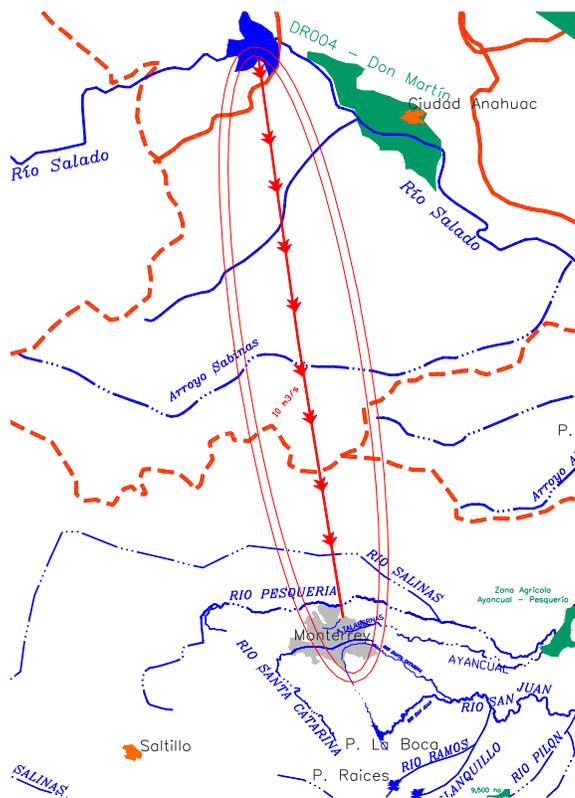
Transferir aguas desde la presa Falcón hasta Monterrey implicaría cuatro posibles costos: el de penalización o compra de agua a los EUA (que en realidad no la venden, porque también la

necesitan); el segundo, de transferencia hasta la ZMM y potabilización y por último, el valor de los derechos de los agricultores que actualmente dependen de dicha agua.

IV.7.1.2. Importación desde la Presa Venustiano Carranza hasta la ZMM

Una alternativa que tiene el estado de Nuevo León para incrementar la oferta de agua potable de la Ciudad de Monterrey por medio del uso de aguas propias del estado, es la compra total de derechos de agua a los agricultores del río Sabinas, aprovechado por medio de la presa Venustiano Carranza, para el Distrito de Riego 04, Don Martín; lo cual brindaría hasta un gasto firme de aproximadamente 5 m³/s; sin embargo, los impactos en la actividad agrícola del Distrito de Riego 04, *Don Martín*, serían totales y quizás los agricultores se opongan a la transferencia.

Figura IV. 12. Transferencia desde la presa Venustiano Carranza hasta la ZMM



Como consecuencia, el Distrito de Riego se convertiría en una zona de riego por temporal, que reduciría su productividad al exponerse en forma directa al efecto de las sequías (sin contar con el agua almacenada en la presa).

IV.7.1.3. Importación de agua desde el Bajo Río Bravo, aguas abajo de la presa Falcón, hasta la ZMM

En la margen derecha del tramo del río Bravo que fluye desde la presa Falcón, hasta el Golfo de México, se encuentran el DR025 Bajo Bravo e importantes Ciudades como Díaz Ordaz, Reynosa y Matamoros, las cuales se encuentran en crecimiento.

Los deficiencias que en la década de los noventa se presentaron en el escurrimiento del río San Juan, tuvieron como consecuencia un incremento en el uso del agua del río Bravo, por parte de aquellos usuarios del río San Juan, que tuvieron oportunidad de bombear agua desde el mismo.

De modo similar a los problemas que existen aguas arriba de la presa Falcón, aguas abajo, el uso del agua para consumo de los mexicanos, es excesivo y reduce la disponibilidad para consumo de los EUA.

Por estas razones, aguas abajo de la presa Falcón, el río Bravo tampoco ofrece alternativas atractivas de abastecimiento para exportar agua a la CRSJ.

Disponer de agua del Bajo Río Bravo, dependería exclusivamente de una compra de derechos a los agricultores del DR026, Bajo Bravo, además de los costos de infraestructura de conducción y de tratamiento, el agua podría aprovecharse desde la presa Falcón.

Los estudios previos comprobaron que sería posible extraer desde 6 m³/s hasta 10 m³/s de la presa Falcón, para llevarlos hasta la ZMM, sin producir deficiencias mayores al 5% en la agricultura del Distrito de Riego 025, Bajo Bravo. Únicamente podrían transferirse más de 10

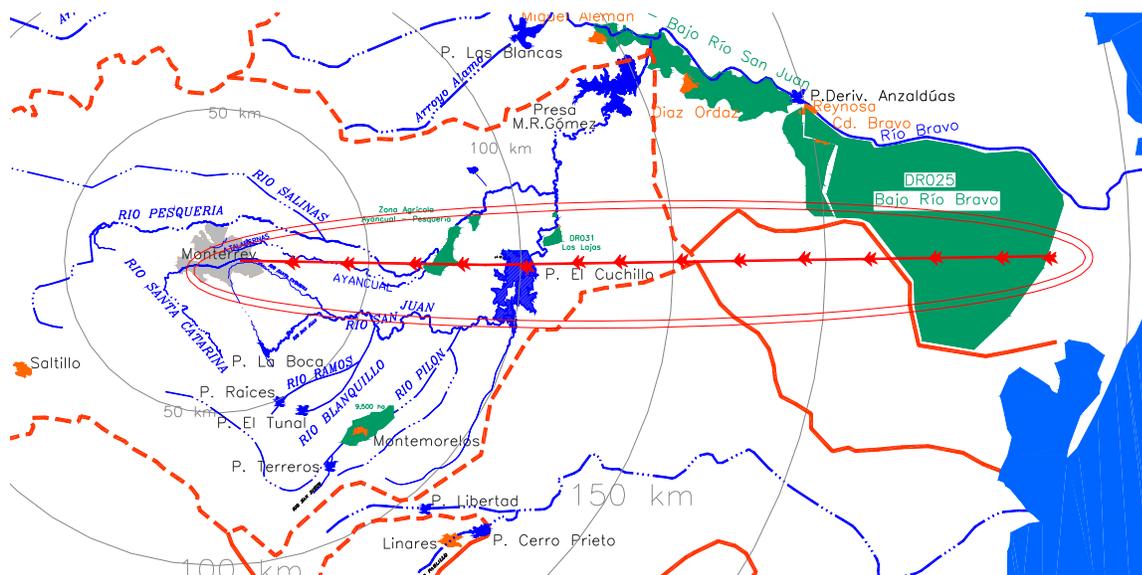
m³/s, en caso de que se restituyeran al río Bravo las aguas residuales producidas en Monterrey, mediante su transferencia por el río Pesquería hasta la presa Marte R. Gómez, para luego derivarlos hacia el Bravo. Al considerar que las aguas residuales se comprometieron desde que comenzó a operar la Presa el Cuchillo, resulta entonces que esta opción ofrece un gasto firme máximo de 6 m³/s.

IV.7.1.4. Importación desde el acuífero tamaulipeco Río Bravo, Zona Norte, hasta la ZMM

Esta alternativa considera posible la extracción y transferencia de agua de los acuíferos costeros de la Baja Cuenca del Río Bravo. Los acuíferos en cuestión se encuentran dentro del estado de Tamaulipas. La transferencia es del orden de 280 km de longitud, con un desnivel inferior a 300 m. La calidad del agua de los acuíferos puede ser inadecuada para consumo humano, y la oferta de agua, tal que permita una explotación racional de esta fuente, presenta también una restricción del orden de 70 Mm³ anuales, lo que implica una oferta firme de aproximadamente 2 m³/s.

Esta obra involucra costos de conducción, bombeo mediante pozos y con estaciones de bombeo, además de un posible tratamiento para reducir la salinidad del agua.

Figura IV. 13. Importación desde los acuíferos de la cuenca del Bajo Río Bravo hacia la ZMM



IV.7.1.5. Importación desde la cuenca del río San Fernando hasta la ZMM

Actualmente, la presa Cerro Prieto, aprovecha casi la totalidad de las aguas del río San Fernando, ya que, dicho embalse capta el escurrimiento de la zona más lluviosa de la cuenca. Las políticas de operación del sistema, por el momento ponen en riesgo la disponibilidad de agua para los agricultores que se encuentran aguas debajo de dicha presa, pues se estableció que mientras el agua no sea suficiente para la ZMM, no hay extracciones para uso agrícola en ninguna de las presas que abastecen a dicha ciudad.

Se han identificado ya impactos en la recarga de los acuíferos del río San Fernando, así como en la calidad de su agua, que posiblemente se deben a la reducción del escurrimiento aguas abajo de la presa Cerro Prieto, pues el escurrimiento constituye la principal recarga de dichas fuentes remanentes.

Con base en estas circunstancias, se consideró que la cuenca del río San Fernando no debe donar más agua. En lugar de donar agua, es necesario el seguimiento de proyectos y acciones que restablezcan el equilibrio hidrológico afectado por la presa Cerro Prieto.

La única condición en que sería adecuado importar agua desde esta cuenca, sería, una vez dada la transferencia de derechos de los agricultores y otros usuarios, a la ZMM; pero aún así, el volumen de agua disponible no se incrementaría sensiblemente con respecto al volumen actual.

IV.7.1.6. Importación desde la Cuenca del río Soto la Marina hasta la ZMM

La alternativa de aprovechar el agua de la Presa Vicente Guerrero a finales de la década de los noventa y en el año 2000, perdió su atractivo debido a que presentó almacenamientos mínimos y demostró ser una fuente irremplazable para el suministro de agua a Ciudad Victoria durante sequías. Esta situación puede acentuarse en los próximos años, debido al crecimiento de dicha Ciudad, así como de otras poblaciones cercanas.

Aproximadamente el 55% del escurrimiento de la Cuenca (850 Mm³ anuales) son aprovechadas por medio de la presa Vicente Guerrero, para el riego de 40,000 Ha correspondientes al *Distrito de Riego 058, Soto La Marina*, y para abastecimiento de agua potable de Ciudad Victoria (2.1 m³/s).

De acuerdo con los balances hidrológicos de diferentes cuencas del país, calculados por la CNA en 1996, esta cuenca presenta menor disponibilidad relativa que la del río San Fernando⁹.

Cuadro IV. 10. Alternativas de abastecimiento de la cuenca del río Soto la Marina para la CRSJ

Fuente	Corriente	Capacidad (Mm ³)	Gasto (m ³ /s)	Superficie agrícola afectada (ha)	Notas
Presa Pedro J. Méndez	Purificación	30	1.3	6,500 ha de cítricos, con planes estatales de crecimiento.	Requiere derivación del Río Blanco. Conducción por gravedad hasta C. Prieto.
Presa Real de Borbón	Pilón	45	0.2	4,145 ha. Sin compromisos a futuro (en 1990)	Notable oposición de los habitantes locales a ésta obra. Conducción por gravedad hasta C. Prieto.
Presa La Escondida	Purificación	10			Requiere sobre elevación y bombeo - INFECTIBLE -
Manantiales "La Azufrosa"	Soto La marina		9		Aguas abajo de la presa "La Patria es primero". Se emplearía esta agua para el Distrito de Riego, para usar la de la presa para ZMM
Presa Vicente Guerrero	Soto La Marina		4		Se analizaron extracciones reportadas y calculadas y se determinó disponibilidad de 350 Mm ³ anuales. 472 m de desnivel

Los estudios previos identificaron la posibilidad de aprovechar el agua de cuatro presas ubicadas en la Cuenca del río Soto La Marina (Cuadro IV. 10): Pedro J. Méndez y La Escondida, ubicadas en el río Purificación; Real de Borbón, en el río Pílon y Vicente Guerrero, sobre el río Soto La Marina; además de que se consideró la utilidad de las infiltraciones de esta última presa.

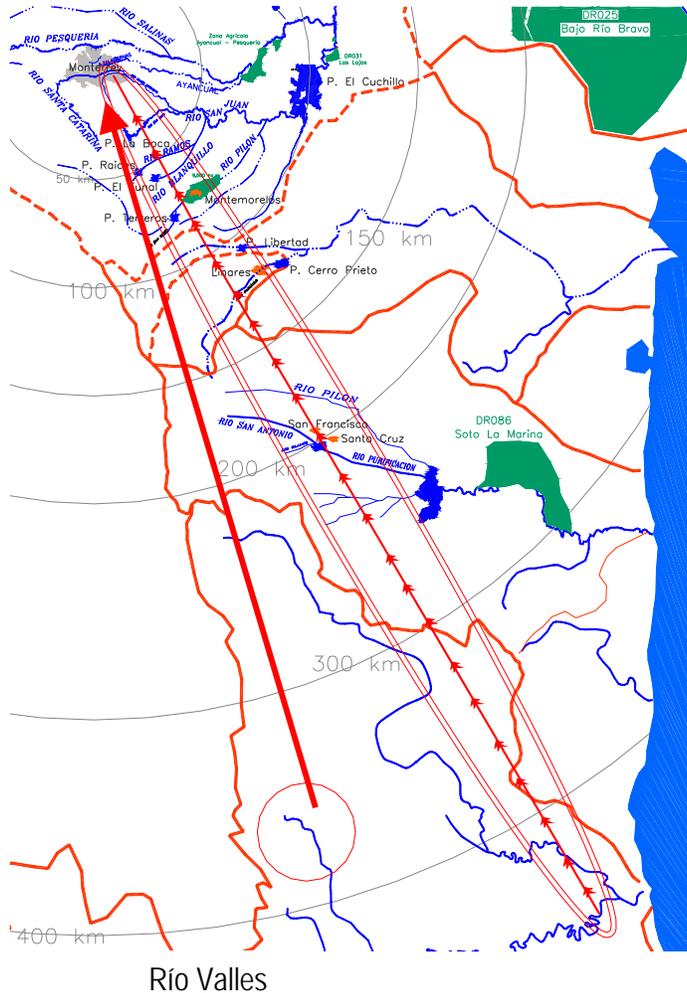
⁹ La disponibilidad es únicamente un valor calculado, derivado de un promedio de las magnitudes que definen el balance hidrológico de una cuenca, y su demanda. El hecho de que la disponibilidad relativa sea menor en un lugar que en otro, no necesariamente se debe a que haya menor cantidad de agua, sino posiblemente, una mayor necesidad de dicho recurso.

En resumen, si se aprovecha la totalidad del escurrimiento, se podría exportar hasta una oferta firme de 5.5 m³/s. En el caso de que se aprovecharan los manantiales de “La Azufrosa”, la cantidad podría aumentar quizás hasta en un 100 %.

IV.7.1.7. Importación desde la Cuenca del río Pánuco hasta la ZMM

La ventaja de esta alternativa es que no presenta conflictos con ningún usuario, pues este río es caudaloso y presenta problemas de abundancia, no de escasez; pero la desventaja es que se encuentra a casi 400 kilómetros de distancia, con más de 400 metros de desnivel, lo que representaría costos de operación de un sistema de bombeo, superiores a cualquier fuente histórica de abastecimiento a la ZMM. Este tipo de proyectos representan con mayor claridad, que el agua en una zona de déficit, como lo es la CRSJ, no se puede regalar, o al menos no se debe, pues si se construye una obra de esta envergadura, marcaría con mayor claridad el final de la época del agua gratuita en la CRSJ.

Figura IV. 14. Alternativa de importación de agua desde el río Pánuco hasta la ZMM



Es indispensable prever la calidad del agua que el Río Pánuco puede tener en el futuro, pues aguas arriba tiene importantes usuarios, como es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y los Estados de Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro, que actualmente ya presentan problemas de escasez.

Únicamente la cuenca del río Pánuco presenta una oferta de agua que no pone en riesgo los intereses de la misma; sin embargo, por la gran distancia a la que se encuentra, las alternativas estudiadas que hasta 1999 la consideraban (que pretenden aprovechar al acueducto Linares – Monterrey) involucran los mayores costos.

IV.7.1.8. Importación desde la Cuenca del Río Valles, afluente del Río Pánuco hasta la ZMM

Otra posibilidad de aprovechamiento del agua de la Cuenca del Río Pánuco, consiste en importar agua desde uno de sus afluentes, El Río Valles. Dicho Río es uno de los principales afluentes del Tamaoñón y su gasto promedio anual, es superior a 10 m³/s. Este sitio presenta como ventaja, al compararlo con la importación de agua desde el río Pánuco, que cuenta con una mayor altitud y se encuentra más cerca de la CRSJ, lo cual reduce los costos de transferencia.

La ubicación de esta fuente se identifica con un círculo ubicado al Oeste de la zona de extracción señalada en el río Pánuco, en la figura anterior IV. X.

IV.7.1.9. Desalinización de agua del Golfo de México e importación hasta la ZMM

Una alternativa más, es la desalinización e importación de agua salobre o salada, originaria del mar o de esteros del litoral de Tamaulipas. El costo total de la acción involucraría: desalinización, potabilización e importación; quizás no sería necesario desalinizarla para hacerla potable, sino para riego, esto en el caso de que no se haya relegado el uso agrícola mediante la compra de derechos. Sería prudente entonces considerar un intercambio de agua entre agricultores y usuarios públicos.

Esta alternativa tiene como ventaja, que ofrece un volumen ilimitado de agua; esto sin considerar el elevado costo que implica el proceso de desalinización.

IV.7.1.10. Alternativas de importación de agua a la Ciudad de Saltillo

Dada una tasa anual de crecimiento de la población de Saltillo, del 3.8%, resulta atractivo el aprovechamiento del acuífero Saltillo Sur. Esto, debido a la creciente demanda y sobreexplotación de los acuíferos de Coahuila, dentro de la CRSJ.

El siguiente cuadro muestra la condición de aprovechamiento de los acuíferos cercanos a la Ciudad de Saltillo.

Cuadro IV. 11. Características de los acuíferos próximos a la Ciudad de Saltillo

No.	Acuífero	Area (km ²)	RECARGA Mm ³ /año	EXTRACCION Mm ³ / año			Disponib.
				Agrícola	Pub-Urb-e Indust.	Suma	
Subregión San Juan 24 – F							
24-26	Cañón El Derramadero	1,100.0	11.0	12.73	10.03	22.76	-11.76
24-27	Paredón	2,940.0	10.0	11.00	2.50	13.50	-3.50
24-28	Saltillo-Ramos Arizpe	1,370.0	50.0	12.20	55.20	67.40	-17.40
24-29	Zona Manzanera-Zapalinamé	1,000.0	51.7	65.65	1.27	66.92	-15.22
Subregión S.Madre Oriental 37 - A							
24-25	Saltillo Sur	8,240.0	130.0	11.48	10.30	21.80	+108.20

Actualmente se prevé el aprovechamiento del acuífero Saltillo Sur, que ofrece a mediano plazo un gasto promedio de 870 l / s. Su primera etapa, ya realizada, mediante 9 pozos extrae un gasto de 460 l/s.

Las siguientes dos etapas ofrecen respectivamente, gastos de 240 l/s y 170 l/s.

En estudios de planeación hidráulica regional, se ha considerado que una vez desarrollada la totalidad del proyecto Carneros Sur, será necesario importar agua desde fuentes lejanas, como es el manantial de la Azufrosa, aguas debajo de la presa Soto La Marina.

Otra alternativa de abastecimiento consiste en el aprovechamiento de fuentes externas a la CRSJ, junto con la ZMM, con provecho de la economía de escalas, de modo que se conduzca el gasto total a la ZMM, para luego enviar una parte correspondiente a Saltillo. El análisis económico descrito posteriormente, considera atractiva a ésta última alternativa.

IV. 7. 2. Tratamiento y uso del agua residual

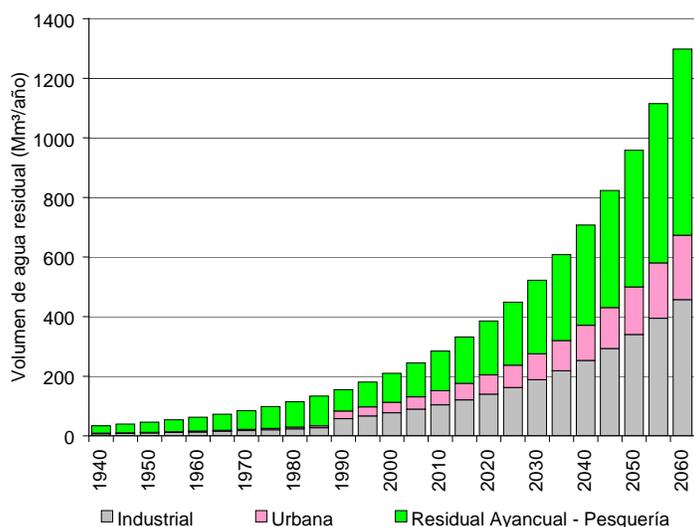
En realidad esta acción se lleva a cabo desde hace varias décadas y únicamente resta someterla a una mayor eficiencia y posiblemente a una reglamentación que optimice su rendimiento y su sano uso.

Una posible fuente de abastecimiento para el uso agrícola, son aquellas aguas residuales de la ZMM, que no sea posible aprovechar en la misma; sin embargo, deben contar con una calidad aceptable para riego, para lo cual deben ser previamente tratadas.

Al considerar que la ZMM, en el futuro, forzosamente incrementará su demanda y que se valdrá de nuevas importaciones desde cuencas externas para satisfacerla; inevitablemente se dispondrá de un mayor volumen de agua residual.

El incremento del costo del agua, conllevará a la industria a intensificar el uso del agua residual cruda y tratada; sin embargo, dicha demanda es incapaz de disponer de toda el agua residual.

Figura IV. 15. Pronóstico de un escenario de disponibilidad del agua residual de la ZMM



De acuerdo con un pronóstico simplificado en el cual se consideró una evolución del costo del agua dulce y un incremento de la disponibilidad debido a las importaciones, resulta que la demanda industrial a mediano y largo plazo, consumirá un máximo del 35 % de las aguas residuales; esto sin considerar que se intensificará el reciclaje, lo cual reduciría la demanda industrial.

Al observar la figura IV. 16, resulta que para el año 2040, la disponibilidad de agua residual no comprometida para fines urbanos o industriales, ascendería a casi 336 Mm³; volumen superior a las extracciones de diseño de la presa El Cuchillo.

IV. 7. 3. Aprovechamiento de agua subterránea disponible en la CRSJ

Según las condiciones de recarga y extracción de los acuíferos de la CRSJ reportadas por diversas fuentes de información, la disponibilidad que ofrecen los acuíferos subexplotados es del orden de 2 m³ / s. Además de que este volumen no sería suficiente para resolver los problemas en mediano y largo plazos; debe preverse el incremento de la demanda local de cada acuífero, para no afectar a sus usuarios.

Cabe mencionar que aunque muchos acuíferos no ofrecen un gasto firme permanente, todos cuentan con un almacenamiento que al menos puede auxiliar eventualmente durante los períodos de sequía u otros casos de escasez provisional.

IV. 7. 4. "Presas Subterráneas" y recarga artificial de acuíferos

Hasta el momento se desconoce el potencial de esta alternativa en la CRSJ, pero es recomendable estudiarla y en caso de ser factible, llevarla a cabo. Es necesario comparar las pérdidas por evaporación con las pérdidas en dichos almacenamientos y entonces determinar la conveniencia de esta acción.

Las presas subterráneas, conjugadas con obras de recarga artificial, podrían en principio almacenar escurrimientos extraordinarios y posteriormente, evaluar el efecto de recargar agua residual tratada en almacenamientos para usos diversos, ajenos al suministro de agua potable.

IV. 7. 5. Reducción de fugas en la distribución

Actualmente el porcentaje de fugas en la zona urbana de Monterrey, es muy pequeño, comparado con el resto de las ciudades del país. Los costos de las acciones necesarias para conservar la eficiencia de distribución de un sistema, pueden incrementarse exponencialmente cuando las fugas tienden al ser nulas; sin embargo, el incremento de los costos del agua, pueden justificar dichas acciones.

El control de fugas depende de un mantenimiento y de una rehabilitación constantes. Su efecto se refleja en un incremento porcentual de la eficiencia en la distribución, con una magnitud descrita previamente, en el apartado IV. 1. 2.

Cabe mencionar que especialmente en la ZMM, la reducción de fugas representa un beneficio de corto plazo, ya que la tasa porcentual de crecimiento demográfico y de demanda de agua potable en un período de cinco años (10%), equivale casi al ahorro máximo por control de fugas.

IV. 7. 6. Rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura

El riego en la agricultura incrementa la productividad hasta en un 150%, pero sólo cuando la infraestructura se encuentra en buenas condiciones, para lo cual requiere del mantenimiento y de la rehabilitación.

La tecnificación y modernización de las zonas de riego, requieren inversiones redituables, que dependen de modelos agrícolas económicamente sustentables, condición ausente para diversos cultivos del DR026 (los granos principalmente: sorgo, trigo y maíz).

La pobreza del sector agrícola dificulta la modernización, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola. Las inversiones para estos propósitos, serían redituables ante el costo de escasez en los sectores público – urbano e industrial de la CRSJ, pero sin el ordenamiento y la regularización de los aprovechamientos, existe el riesgo de que se incremente la frontera agrícola y los problemas de insuficiencia se agudicen.

IV. 7. 7. Manejo de cuencas

Para contrarrestar los daños que el ser humano y sus actividades pueden causar sobre el medio, es posible establecer acciones preventivas y correctivas, como son: la reforestación, la planeación y control del uso del suelo y el control de la calidad y de la cantidad del agua en los cauces, entre otras. Cualquier acción a futuro debe preverse con intención de reestablecer el equilibrio ambiental.

Estas acciones no sólo tienen el propósito de evitar los daños ambientales sobre la cuenca, sino proponer estrategias para que las actividades del ser humano y su futuro desarrollo, resulten

favorables al ambiente, incrementen la biodiversidad y hagan de la cuenca un sitio más hospitalario.

IV. 8. ACCIONES SOBRE LA DEMANDA

Las acciones sobre la demanda, propuestas son:

- El incremento en la eficiencia del uso del agua,
- La compra de derechos y
- El reuso del agua.

Como se especificó previamente, estas acciones no incrementan el suministro de agua al sistema, sino que procuran un uso racional del mismo.

IV. 8. 1. Incremento de la eficiencia para uso público urbano

IV.8.1.1. Reducción de consumos en el uso público urbano

Esta acción se fundamenta en

- La creación de una conciencia del valor del agua,
- Involucramiento de usuarios mediante cobro del agua, dada una tarifa óptima para el desarrollo socioeconómico general
- Penalizaciones a los usuarios que desperdicien el agua
- Instalación obligatoria de micromedidores

El uso eficiente del agua requiere de una continuidad en el mantenimiento y la rehabilitación de la infraestructura hidráulica, para evitar el incremento en las pérdidas por fugas, ya que se incrementa la presión manométrica en las redes de distribución.

IV. 8. 2. Incremento de la eficiencia en el uso del agua para fines agrícolas

A continuación se describen algunas actividades relacionadas con el incremento de eficiencia en el uso del agua para fines agrícolas.

IV.8.2.1. Tecnificación del riego

La tecnificación del riego puede incrementar la eficiencia en el uso del agua en las parcelas; sin embargo es recomendable que inicialmente se reduzcan las pérdidas por fugas en los canales y drenes, pues la infraestructura parcelaria para tecnificar el riego representa para el agricultor un costo bastante mayor (por lo normal, inaccesible) y desde cualquier perspectiva implica un mayor esfuerzo para ahorrar el agua.

IV.8.2.2. Cambio de cultivos

Esta actividad depende de la identificación de cultivos que requieran de una menor lámina de riego, u otros que se adapten de mejor manera a las restricciones de disponibilidad del agua.

Esta es una alternativa compleja, que requiere de un desarrollo gradual, ya que involucra muchos factores naturales y sociales, como son: clima, suelo, mercado local y regional y otros aspectos sociales de los cuales depende la viabilidad de una nueva propuesta de cultivos.

En este caso, también es necesario capacitar a los agricultores para los nuevos cultivos y disponer de la infraestructura necesaria para su desarrollo.

IV.8.2.3. Consolidación de las zonas agrícolas

La propuesta de consolidación de zonas agrícolas, es una medida que se ha llevado a cabo en diversas zonas agrícolas del país y del mundo, cuya finalidad, es ordenar las parcelas y lotes, en superficies más compactas, de modo que se reduzcan las pérdidas por fugas en la conducción y en la distribución del agua para riego.

Esta acción constituye un reordenamiento del uso del suelo, que puede efectuarse en los distritos de riego y en aquellas zonas que hasta el momento han crecido sin control.

IV.8.2.4. Compactación de áreas agrícolas

Esta alternativa cobra importancia al notar que el riesgo actual de escasez de agua para riego, desmotiva el desarrollo de cultivos redituables, de mayor competitividad, pero que dependen de menores deficiencias de agua.

La demanda actual de agua para riego, es superior a la que el sistema de ríos puede dar sin producir deficiencias promedio superiores al 5%, por lo que además de la necesidad de nuevas fuentes, es necesaria una reducción de la demanda para riego.

IV.8.2.5. Modernización de la infraestructura

Del mismo modo que la rehabilitación, el mantenimiento y la tecnificación, la modernización de estructuras obsoletas puede incrementar la eficiencia en la distribución del agua en las zonas agrícolas.

IV.8.2.6. Modernización de las Técnicas de riego

De forma más accesible que el cambio de cultivos, la propuesta de modernización de técnicas de riego, es una acción flexible que puede consistir, desde programas de capacitación campesina, hasta programas de modernización del campo, mediante uso de fertilizantes (fertirrigación). y técnicas no convencionales de agricultura.

IV. 8. 3. Normatividad usos – calidad

Consiste en promover una normatividad, que restrinja el uso del agua según su calidad y su fin. Por ejemplo, debe evitarse riego con agua potable (de lo cual, en el año 2000 depende en gran parte el riego en los distritos de riego 031, Las Lajas y 026, Bajo Río San Juan).

Es necesario identificar los mercados potenciales del agua, para distintas calidades, así como la justificación para clasificar el agua residual.

IV. 8. 4. Regularización de aprovechamientos y depuración de usuarios clandestinos

Esta acción preventiva controla el surgimiento de nuevos usuarios demandantes de agua. Requiere de la operación y complementación de la red de hidrometría y monitoreo de la calidad del agua, además de personal capacitado para realizar oportunamente las inspecciones y mediciones.

Es indispensable conocer en forma confiable la localización de los usuarios y el volumen de agua que requieren, para planear o efectuar cualquier medida de participación o control que los involucre.

La depuración de usuarios clandestinos debe realizarse con la participación de los ciudadanos de la zona, mismos que deben conocer las restricciones de uso de suelo y del agua, de modo que sea posible la propuesta de acciones benéficas y sanciones justas, que protejan un uso racional del agua.

La regularización de los aprovechamientos es una tarea prioritaria en todo momento, mínima indispensable para el control del agua en la CRSJ.

La incapacidad de ordenamiento en el uso del agua, así como la dificultad de coordinación entre los habitantes, deben considerarse restricciones prioritarias.

Una consecuencia de la omisión de esta acción es lo ocurrido en las áreas agrícolas ubicadas en las márgenes de los ríos Ayancual y Pesquería.

IV. 8. 5. Compra de derechos

Como se describió previamente, una opción muy atractiva en la CRSJ, es la compra de derechos de uso de agua potable y residual para fines agrícolas. Sin lugar a duda, la razón más válida para transferir los derechos del agua del Distrito de Riego 026, a los habitantes de la ZMM, es que actualmente los primeros dependen del uso de más de 400 Mm³ de agua de primer uso, útil para consumo humano, para el riego agrícola.

La Compra de derechos a los distritos de riego, aún no se legisla en forma explícita. Su legislación se dificulta por el sobredimensionamiento de los Distritos de Riego, que conlleva a sobreestimar el agua que les corresponde y la relación de aguas – superficies regadas. Se relaciona directamente con el problema de la agricultura en la Región Río Bravo.

Esta acción puede producir graves impactos en los usuarios agrícolas, si se considera una compra de la totalidad de los derechos, con lo cual se daña al rendimiento productivo.

La compra de derechos de agua, puede reducir la productividad agrícola, ya que disminuye el volumen de agua disponible para riego. De este modo, esta acción debe velar también por la importancia del campo y tomar en cuenta que el aprovechamiento de agua residual tratada es una fuente creciente de abastecimiento, que se puede conjugar para este fin.

Mediante compensaciones económicas se ha pensado “comprar” el Distrito de Riego 026, indemnizar “para siempre” a los agricultores, meterlos a trabajar en maquiladoras, etc. Y en términos económicos todas estas opciones representan soluciones atractivas que podrían solventarse en el negocio de cambiar el uso del agua, pero incrementan el riesgo de los siguientes problemas:

- Desempleo y el cambio de ocupación,
- Emigración,
- “Rentismo”. Los derechohabientes del agua reciben su pago o indemnización y a su vez, rentan su tierra a trabajadores marginados, para que la trabajen por temporal.
- Empobrecimiento,
- Restricción a la gama de cultivos rentables. Debido al incremento del riesgo de escasez, como resultado de la reducción del volumen de agua y de su uso desordenado entre los usuarios agrícolas restantes.

- Disminución del desarrollo agrícola y de su mercado,
- Daños a las actividades secundarias a la producción agrícola, tales como transporte, almacenamiento y venta de los productos,
- Modificación de tradiciones y costumbres,
- Marginación de los habitantes que no son derechohabientes del agua por carecer de títulos de propiedad.
- Restricción de crecimiento en los negocios agrícolas de los habitantes indemnizados, ya que su mercado de productos agrícolas no puede crecer ni competir sólo con indemnizaciones.

Ante estas circunstancias, el cambio de uso en el sector agrícola, en el balance económico de la cuenca del río San Juan puede representar ganancias monetarias, ya que evita a la Ciudad de Monterrey obtener el agua de fuentes más costosas; sin embargo, las consecuencias previamente listadas, son catastróficas.

Ya que el sector agrícola en general presenta problemas de irrentabilidad ante el mercado internacional, resulta redundante involucrarlo en una subasta por el agua de la CRSJ, en la que participen las ciudades y centros industriales.

La "compra y venta de derechos de agua" debe constituir parte de un programa de acciones de desarrollo de la Cuenca y de sus comunidades, con el propósito de que todos sus involucrados resulten beneficiados.

Aún si se transfiriera la totalidad de los derechos del agua de primer uso del Distrito de Riego 026, a la ZMM, en el futuro se incrementaría la disponibilidad de agua residual para agricultura.

Aunque la transferencia de derechos desde el sector agrícola hacia los sectores industrial y público urbano, constituye una alternativa atractiva para los últimos, es necesario que se efectúe únicamente junto con acciones que garanticen la mejoría en el nivel de vida general de todos los involucrados, o en su defecto, omitirse, pues los daños por transferencia, desalientan la futura cooperación de zonas donadoras de agua.

IV. 8. 6. Campañas de comunicación

Los medios de comunicación guardan un papel importante en la participación conjunta de los habitantes de la cuenca para cuidar el agua. Actualmente han incrementado el antagonismo entre Monterrey y los usuarios involucrados con dicha urbe; e incluso con los que podrían cooperar para su suministro de agua en el futuro.

De este modo, es necesario que las campañas de comunicación procuren la unión y cooperación de todos los habitantes y no su enemistad.

IV. 9. EFECTO DE LAS ACCIONES EN DIVERSOS ÁMBITOS FÍSICOS Y SOCIALES

Según sus características y su interrelación, las acciones propuestas modifican los patrones de disponibilidad y consumo del agua.

Las alternativas de aprovechamiento de agua, se definen por la disponibilidad de las fuentes y por el volumen de extracción propuesto. En general el efecto de las acciones se analizó mediante el

modelo matemático descrito en el Anexo B, junto con un análisis simplificado de las fuentes disponibles para cada centro de demanda.

A diferencia de las acciones sobre la oferta, que involucran en forma directa volúmenes de agua cuantificables, las acciones sobre la demanda no consideran al agua en forma directa, sino que inciden en la forma en que se aprovecha dicho recurso, por medio del cambio de diferentes factores:

- Actitud ante el recurso
- Condición de desperdicio
- Cambio del uso del agua

Estos factores involucran costos variables, que para su conocimiento requieren de un análisis detallado de cada usuario, cada uso y las características de la infraestructura de distribución.

Cuadro IV. 12. Ejemplo de tasas porcentuales relativas a acciones sobre la demanda

	D	AL	AM	AN	AO
36		PORCENTAJES AUXILIARES			
37	Nombre	Tasa de proyección de la demanda futura	Tasa de proyección de la demanda histórica	Ahorro propuesto por concientización y modernización	Ahorro propuesto por rehabilitación
38	Zona Metropolitana de Monterrey	2%	4.0%	20.0%	5.0%
39	Bajo San Juan	0%	0.2%	40.0%	30.0%
40	Usuarios agrícolas Ayuncual - Pesquería - Salinas	1%	2.0%	40.0%	50.0%
41	Las Lajas	0%	0.2%	40.0%	30.0%
42	Alto San Juan	1%	1.0%	40.0%	20.0%
43	Las Blancas	1%	0.5%	20.0%	20.0%
44	Zona Agríc. de Cerro Prieto	0%	1.0%	20.0%	30.0%
45	Distrito de Riego 025 Bajo Bravo	0%	0.5%	40.0%	30.0%
46	DR 092 Las Animas, Tamps. Pánuco	1%	0.5%	0.0%	20.0%
47	DR 086 Soto La Marina + Cd Victoria	1%	0.5%	40.0%	20.0%
48	Pobladitos dependientes de acuíferos foráneos	1%	0.5%	20.0%	20.0%

El efecto de las acciones sobre la demanda en el sistema hidrológico, se estimó mediante la variación de coeficientes porcentuales (Cuadro IV. 12) y otras variables que definen las condiciones en que se aprovechan las fuentes de abastecimiento.

La única acción sobre la demanda, que no se describe por medio de porcentajes, es la compra de derechos, que también representa una reducción de la superficie agrícola demandante de agua, por lo cual permite el cambio del uso del agua para fines agrícolas, hacia un nuevo uso: industrial o público.

Para analizar el efecto local de las acciones, se consideró que los intereses en el desarrollo hidrológico regional se pueden clasificar en cinco ámbitos: político, económico, social, hidrológico y ambiental.

Las acciones, a su vez, se clasificaron en cinco grupos: reuso, uso eficiente y controlado, aprovechamiento de fuentes locales, transferencia de derechos e importación desde fuentes externas.

Los parámetros fundamentales para evaluar el efecto de las acciones sobre los ámbitos descritos, se describen en forma respectiva, en el siguiente cuadro.

Cuadro IV. 13. Ámbitos de comparación de las alternativas

Cuantitativa		Cualitativa		
Hidrológico	Económico	Ambiental	Político	Social
Deficiencias resultantes	Costos de las acciones	Impacto en el ambiente	Efectos advertidos	Impactos sobre los habitantes

Cada conjunto de acciones tiene un impacto clasificado en forma cualitativa con una escala variable, desde 1 hasta 5, donde los números mayores representan las mayores dificultades en cada ámbito.

La calificación de efectos (Cuadro IV. 15) se fundamenta en su interpretación cualitativa y cuantitativa (descritas en el Cuadro IV. 14).

Cuadro IV. 14. Factibilidad de las acciones y efectos notables en los ámbitos propuestos

Factibilidad	Político	Económico	Social	Hidrológico	Ambiental
Reuso	Mientras no se resuelvan los déficits, el reuso intensifica la competencia por el agua	Costo elevado, rentabilidad comprobada para fines públicos e industriales	Restringido por requisitos legales de oferta y calidad a segundos usuarios	Esta opción promueve la desertificación y la reducción del escurrimiento	Se reducen los escurrimientos de los cauces y se incrementa la evapotranspiración.
Uso eficiente y controlado	Demanda de la participación de los usuarios.	Costos elevados de operación y mantenimiento	Requiere de capacitar e informar a los usuarios, además de su control.	El control de los usuarios agrícolas y su tecnificación, son una tarea muy difícil	Benéfico, por un desperdicio mínimo del agua
Otras fuentes de cuenca propia	Esta opción se limita a acuíferos y manantiales recientemente identificados	Costos bajos, sin conflicto con otros usuarios.	No produce conflictos entre usuarios	Reduce los déficits locales, pero las fuentes son solución de corto plazo.	La cuenca se encuentra en un proceso de desertificación que se intensificaría
Transferencia de derechos	Se considera una transgresión a la soberanía de los agricultores de Tamps.	Costos mínimos por compra de derechos del agua a los agricultores (\$0.20/m³)	Factibilidad dudosa, motivo de desempleo y emigración de agricultores	Reduce el estado de déficit en el balance hidrológico de la cuenca.	Benéfico, por una reducción del aprovechamiento
Importación	Existe ya una predisposición negativa de los habitantes de las cuencas vecinas	Costo máximo de alternativas previstas	Siempre y cuando se haga desde fuentes con disponibilidad, no habría problema social.	Puede incrementar la disponibilidad relativa promedio regional	Posible desertificación y deterioro de los cuerpos de agua donadores

Cuadro IV. 15. Calificación de acciones por ámbito (5 = mayor dificultad, 1 = mínima)

	Político	Económico	Social	Hidrológico	Ambiental	Total
Reuso	3	3	4	4	3	17
Uso eficiente y controlado	2	4	3	5	2	16
Otras fuentes de cuenca propia	1	1	1	3	4	10
Transferencia de derechos	5	2	5	1	1	14
Importación	4	5	2	2	5	18

La suma de los valores asignados, representa la dificultad para llevar a cabo las acciones, de este modo, una evaluación en la cual se pondera con el mismo peso a todos los ámbitos, determina que las acciones prioritarias, según la facilidad con la cual pueden realizarse son:

- Aprovechamiento de cuerpos de agua remanentes y disponibles, propios de la cuenca.
- Transferencia de derechos agrícolas a uso público urbano.
- Uso eficiente y controlado del agua.
- Reuso y reciclaje del agua.
- Importación desde otras cuencas.

Este análisis preliminar (Cuadro IV. 16), muestra cómo en el resultado global de la última columna, los primeros dos grupos de acciones (reuso y uso eficiente y controlado), presentan la misma prioridad que en la propuesta del escenario social; mientras que las siguientes corresponden a las del escenario económico.

La acción de importación de agua desde nuevas fuentes es la que presenta mayores impactos en casi todos los ámbitos.

Se considera que en el futuro, según la prioridad de los problemas para el desarrollo, los ámbitos pueden tomar distintas prioridades, por esta razón se propusieron cinco distintos escenarios, uno por ámbito prioritario, en cada uno de los cuales se asignó a cada ámbito un valor variable desde 1 a 5 (Cuadro IV. 16), de tal forma los resultados de una calificación de efectos intangibles preliminar, fueron comparados y sus resultados fueron graficados en la Figura IV. 16.

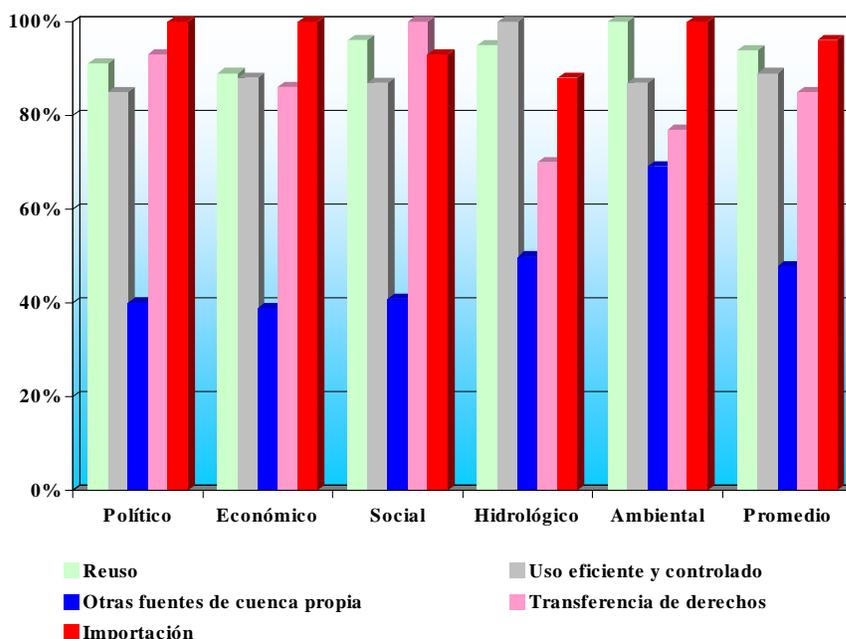
Cuadro IV. 16. Ponderación de ámbitos para cinco diferentes escenarios

Escenario	Peso asignado a cada ámbito				
	Político	Económico	Social	Hidrológico	Ambiental
Político	5	4	3	2	1
Económico	4	5	3	2	1
Social	4	3	5	2	1
Hidrológico	2	4	3	5	1
Ambiental	2	1	4	3	5

Estos escenarios se definieron al considerar la importancia que se asignan los ámbitos entre sí. Para cada caso se obtiene una calificación de 1 a 5, así, por ejemplo, tal como se presenta en el cuadro anterior, en el ámbito político se confiere una importancia mínima al ámbito ambiental, una máxima al ámbito político y en segundo término, al ámbito económico.

Con este criterio, a cada ámbito se le dio un valor, múltiplo de 0.2, que va de 0.2 a 1.0. Posteriormente se aplicaron sobre los resultados presentados en el Cuadro IV. 15. Finalmente, los resultados se ponderaron para obtener en cada conjunto de acciones una calificación máxima de 100% (Figura IV. 16 y Cuadro IV. 17).

Figura IV. 16. Restricción de acciones según distintos ámbitos (0% = mínima, 100% = máxima)



Cuadro IV. 17. Calificación ponderada de las acciones en cada ámbito, criterio combinatorio

	Político	Económico	Social	Hidrológico	Ambiental	Promedio
Reuso	91%	89%	96%	95%	100%	94%
Uso eficiente y controlado	85%	88%	87%	100%	87%	89%
Otras fuentes de cuenca propia	40%	39%	41%	50%	69%	48%
Transferencia de derechos	93%	86%	100%	70%	77%	85%
Importación	100%	100%	93%	88%	100%	96%

Por ejemplo, en el caso de que el ámbito ambiental represente la mayor prioridad, se restringen las importaciones, luego el reuso, posteriormente del uso eficiente y controlado, la transferencia de derechos y por último, del aprovechamiento de fuentes de cuenca propia; en cambio, la atención a problemas sociales; en principio cuida del efecto de la transferencia de derechos, luego del reuso del agua, etc.

De este modo, fueron cinco los escenarios evaluados mediante el modelo de simulación¹⁰, mismos que desarrollan las acciones según el orden que se describe a continuación:

- I. Político. i) Otras fuentes de cuenca propia, ii) Uso eficiente y controlado, iii) Reuso y reciclaje, iv) Transferencia de derechos, v) Importación desde otras cuencas.

¹⁰ Una vez validado al evaluar el funcionamiento hidrológico del sistema durante el período 1940 - 1998

- II. Económico. i) Otras fuentes de cuenca propia, ii) Transferencia de derechos, iii) Uso eficiente y controlado, iv) Reuso y reciclaje, v) Importación desde otras cuencas.
- III. Social. i) Otras fuentes de cuenca propia, ii) Uso eficiente y controlado, iii) Importación desde otras cuencas, iv) Reuso y reciclaje, v) Transferencia de derechos.
- IV. Hidrológico. i) Otras fuentes de cuenca propia, ii) Transferencia de derechos, iii) Importación desde otras cuencas, iv) Reuso y reciclaje y v) Uso eficiente y controlado.
- V. Ambiental. i) Otras cuencas de fuente propia, ii) Transferencia de derechos, iii) Uso eficiente y controlado, iv) Reuso y reciclaje y v) Importación desde cuencas externas.

Se observa que el orden de prioridad determinado en los cinco escenarios propuestos, muestra una similitud total para los escenarios *económico* y *ambiental* con gran parecido al *hidrológico*, mientras que los escenarios *político* y *social*, difieren únicamente en la importancia anticipada que en el primero se confiere a las importaciones.

Ante estas condiciones, pueden realizarse u omitirse las acciones sobre la demanda, a partir de lo cual surgen seis combinaciones o escenarios de análisis.

Los criterios previamente citados, toman mayor importancia en el siguiente capítulo.

IV. 10. COSTO DE LAS ACCIONES

Con base en el catálogo de costos unitarios y según las características de las obras y de los proyectos para el desarrollo hidráulico, se calcularon los costos de las alternativas, mismos que se presentan a continuación. Se consideró un costo de indemnización a los agricultores afectados, de \$0.20 / m³, que resultó del cálculo aproximado del costo de una tonelada de maíz blanco por hectárea, tal como se propone en uno de los últimos acuerdos celebrados entre Nuevo León y Tamaulipas, para compensar la escasez que la presa El Cuchillo, produce sobre el Distrito de Riego 026.

IV. 10. 1. Costo de las acciones necesarias para el uso y la distribución eficiente del agua

Ya que las acciones propuestas para la reducción de la demanda, inciden en forma indirecta sobre la disponibilidad del agua, la propuesta de un costo unitario por metro cúbico de agua ganada, es una hipótesis teórica, que depende a priori, de la disponibilidad del agua aprovechada en el estado inicial.

Tal como se menciona al principio del capítulo no es posible determinar en forma precisa, ni el beneficio, ni el costo de el desarrollo de las acciones de: normatividad, regularización de aprovechamientos, vigilancia, capacitación, ni los de concienciación de los usuarios. Por lo cual, se proponen costos únicamente para el resto de las acciones, por medio de hipótesis simplificadoras.

En el *Anexo D* se presentan criterios simplificados para el análisis de costos unitarios del agua, para las principales acciones sobre la demanda.

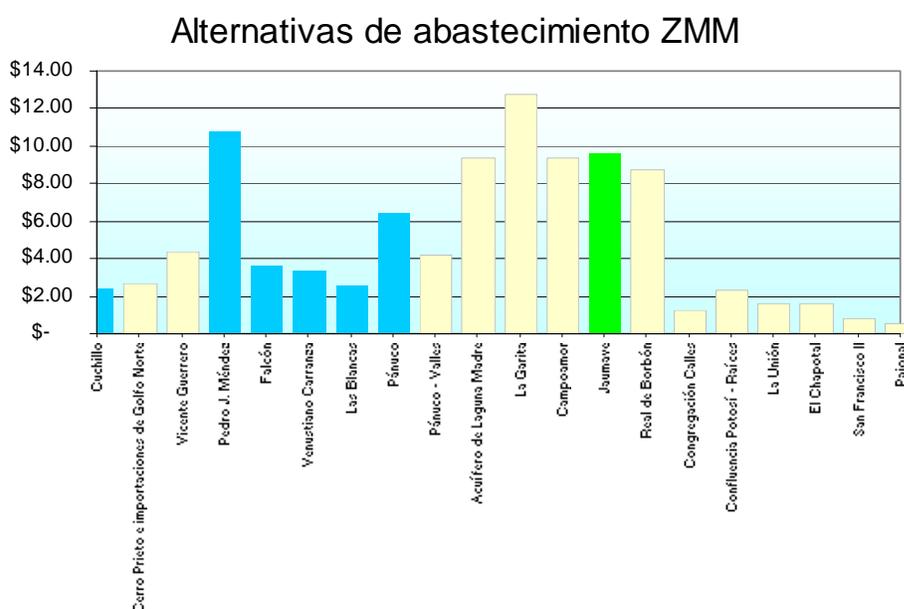
El valor del dinero varía con el tiempo, existen fenómenos económicos naturales, como son: el interés, las inflaciones y deflaciones. Además de que existen costos de oportunidad, que no sólo involucran el costo de las obras relacionadas con el agua, sino también a grupos de usuarios, con intereses y valores diversos, que dependen del agua.

Al considerar la variación del valor del dinero a través del tiempo, resulta posible calcular el valor real de las futuras inversiones e inclusive, comparar las alternativas, para definir con mayor precisión cuales son las acciones estratégicas más convenientes. Los criterios para realizar un análisis de esta naturaleza, se describen en el Anexo D, que a su vez, presenta algunos costos de referencia que fueron útiles para el análisis de costos de las alternativas.

IV. 10. 2. Costo de los proyectos de transferencia de agua

Para el costo de los proyectos de importación de agua desde otras cuencas, se consideraron como parámetros fundamentales: la ubicación de las fuentes, la de los centros de demanda, la calidad del agua de la fuente, la cantidad de agua por exportar y el número de conducciones.

Figura IV. 17. Costos de distintas alternativas de importación de agua a distintos centros de demanda (incluyen tratamiento e indemnizaciones¹¹)



Al observar las alternativas de abastecimiento con las que cuenta la ZMM, se observa que las más económicas se encuentran dentro de la subcuenca del Alto Río San Juan y prácticamente ya se encuentran aprovechadas, pues la presa El Cuchillo se diseñó para captar toda el agua de dicha área de captación¹²; eso sin considerar la existencia previa de la presa La Boca.

En el caso de que se prosiga con la importación desde otras fuentes, las alternativas más económicas son, en orden prioritario: La Presa Venustiano Carranza, la importación desde el río Valles, la Escondida (o quizás Real de Borbón o Pedro J. Méndez) y posteriormente las presas Vicente Guerrero, los acuíferos del Golfo de México y finalmente el uso de agua de las presas Marte R. Gómez y Anzaldúas (pues involucran costos de transferencia, tratamiento e

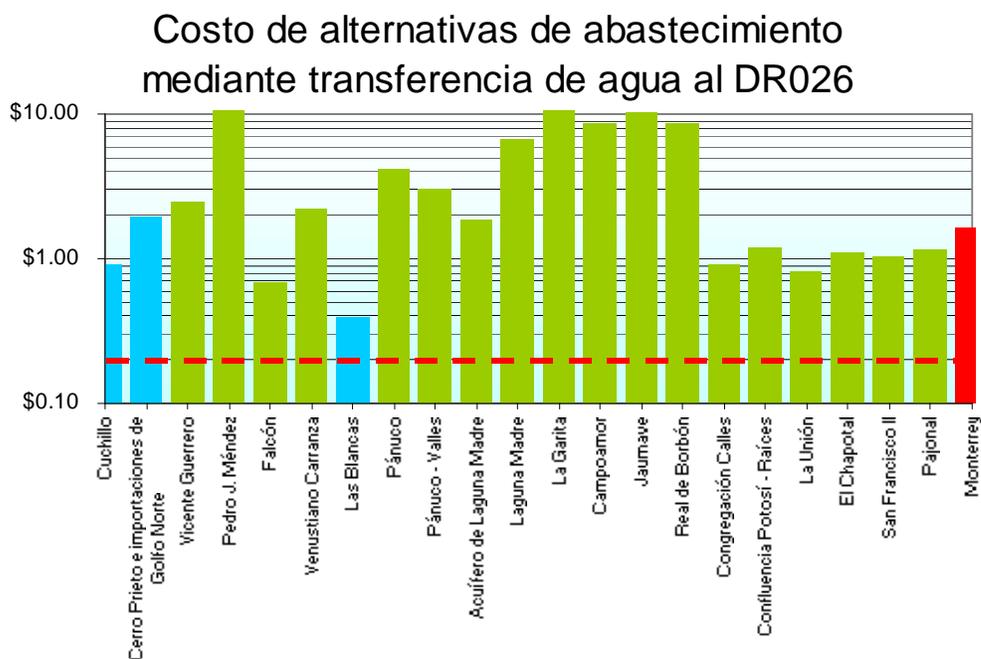
¹¹ Al analizar la alternativa de comprar las tierras agrícolas se observaron costos por m³ de casi \$0.83; pero si se considera únicamente la compra del agua, es decir, de la producción que los agricultores pierden al no disponer del agua, el costo resulta del orden de \$0.20 / m³

¹² De las alternativas correspondientes a los estudios previos, el aprovechamiento del agua de las presas "Tunal" y "Raíces", no es recomendable, ya que reduciría las captaciones de la presa El Cuchillo.

indemnizaciones). Por medio de un color distintivo, se señalan en la gráfica aquellas alternativas ya aprovechadas (Cuenca del Alto Río San Juan y la presa Cerro Prieto).

Un análisis efectuado para el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan, confirma que los costos mínimos de abastecimiento mediante proyectos de importación, corresponden al proyecto de Las Blancas, que ya se encuentra construido. Por medio de una línea punteada se muestra el costo por metro cúbico que corresponde a la producción típica de maíz blanco en el Distrito de Riego. Esa línea a su vez indica la forma en que los costos de importación rebasan los beneficios que produce la agricultura, por lo cual la importación de agua desde fuentes lejanas no es redituable para la agricultura. A su vez, el síntoma de la presa las Blancas, conlleva a notar que dicho proyecto tiene como función, mitigar los impactos que produjo la operación de la presa El Cuchillo, y se caracteriza por corresponder a un conjunto de acciones no redituables, que en la actualidad se efectúan para salvaguardar los intereses de todos los habitantes de la cuenca.

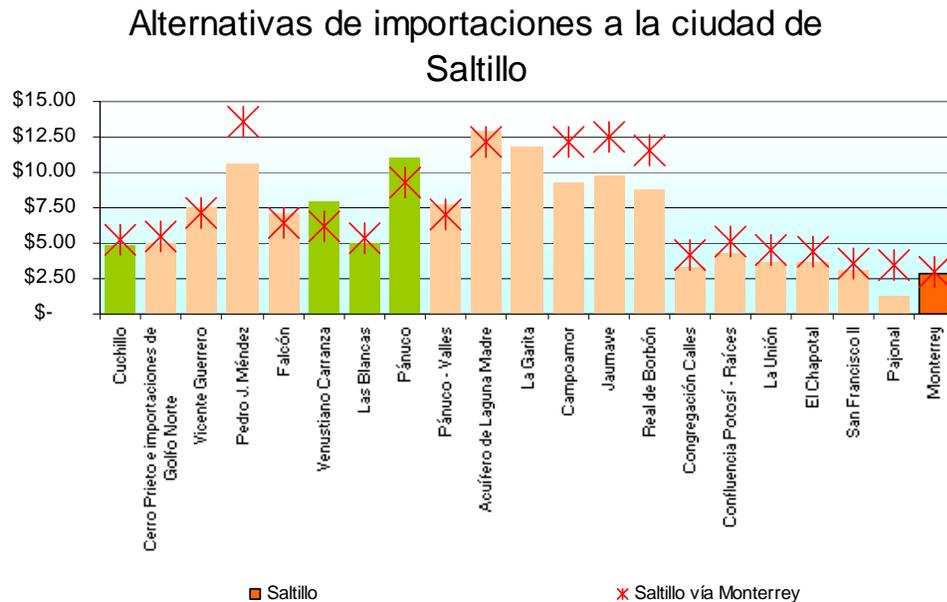
Figura IV. 18. Costo de las alternativas de abastecimiento al Distrito de Riego 026, Bajo San Juan



Se encuentra ya aprovechada por la ZMM el agua de: El Cuchillo, Ramos - Raíces, el Tunal, Terreros y Cerro Prieto, mientras que las otras alternativas de mayor costo, dependen en su mayoría de la compra de derechos a agricultores.

La importación desde la presa Las Blancas, reduce la relación Beneficio / Costo de la producción agrícola, aunque genera beneficios que permiten la subsistencia del Distrito 026.

Figura IV. 19. Costo de las alternativas de importación de agua a la Ciudad de Saltillo



Otro centro de demanda que actualmente presenta deficiencias en su abastecimiento, es la Ciudad de Saltillo y su zona agrícola. Este centro de demanda depende casi en su totalidad, de las aguas subterráneas del acuífero subyacente; sin embargo dicha fuente se encuentra sobreexplotada, mientras que la población continúa en aumento.

Al analizar las alternativas de importación a dicha ciudad, se observó que debido a su gran altitud con respecto al mar (superior a 1,500 msnm) y a su ubicación, dentro de una extensa zona desértica, distante de las fuentes de abastecimiento; el costo de importación del agua es muy alto, prácticamente en todos los casos es superior a cualquiera de las alternativas de la Ciudad de Monterrey.

Un aspecto más, que hace del agua importada un recurso más caro para esta ciudad que para la ZMM, es reflejo de la economía de escalas, pues las obras necesarias involucran largos acueductos, que transportarían volúmenes mucho menores a los que necesita Monterrey (por lo tanto se pagan entre menos personas).

Este análisis refleja en gran medida, la necesidad que existe de evitar el crecimiento descontrolado de la demanda en Saltillo, así como moderar las extracciones para fines agrícolas, para reestablecer el equilibrio en el acuífero.

CAPITULO V. ESCENARIOS Y PROPUESTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS PARA LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN

INDICE TEMATICO

V.	Escenarios y Propuesta de Aprovechamientos Hidráulicos para la Cuenca del Río San Juan	110
V. 1.	Escenario I. Condiciones críticas	112
V. 2.	Escenario II. Condiciones esperadas	114
V. 3.	Escenario III. Resultante de la Propuesta	115
V. 3. 1.	Propuesta para cuencas externas a la CRSJ	116
V. 3. 2.	Propuesta para la Zona de Saltillo y sus inmediaciones	116
V. 3. 3.	Propuesta para el Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan	118
V. 3. 4.	Propuesta para el Distrito de Riego 031, Las Lajas	119
V. 3. 5.	Propuesta para las zonas agrícolas del Alto Río San Juan: Montemorelos, Ramos y Blanquillo	119
V. 3. 6.	Propuesta para la Zona agrícola de los ríos Ayuncual y Pesquería	119
V. 3. 7.	Unidades de riego y pequeñas zonas agrícolas	120
V. 3. 8.	Propuesta para pequeños poblados o localidades semiurbanas y rurales	122

INDICE DE FIGURAS

Figura V. 1.	Estrategia propuesta para cada centro de demanda y prioridad en acciones	110
Figura V. 2.	Interacción de acciones en las condiciones del escenario crítico	112
Figura V. 3.	Interdependencia de acciones para un escenario esperado	114
Figura V. 4.	Oferta de agua a la Ciudad de Saltillo, de acuerdo con la propuesta	117
Figura V. 5.	Evolución del costo unitario del agua potable en Saltillo, como efecto de la propuesta	118

INDICE DE CUADROS

Cuadro V. 1.	Estado de desarrollo de las acciones en cada centro de demanda de la CRSJ	111
Cuadro V. 2.	Descripción de riesgo de omisión en acciones propuestas para la CRSJ	111
Cuadro V. 3.	Descripción del riesgo de omisión en condiciones críticas	112
Cuadro V. 4.	Descripción del riesgo de omisión de las acciones propuestas en condición objetivo	115
Cuadro V. 5.	Descripción de las acciones propuestas para el desarrollo hidráulico de la ZMM	121

V. ESCENARIOS Y PROPUESTA DE APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS PARA LA CUENCA DEL RÍO SAN JUAN

Con base en la comparación de los efectos de las acciones en cada centro de demanda, se identifican las mejores alternativas que definen la propuesta de aprovechamientos hidráulicos para la cuenca del río San Juan.

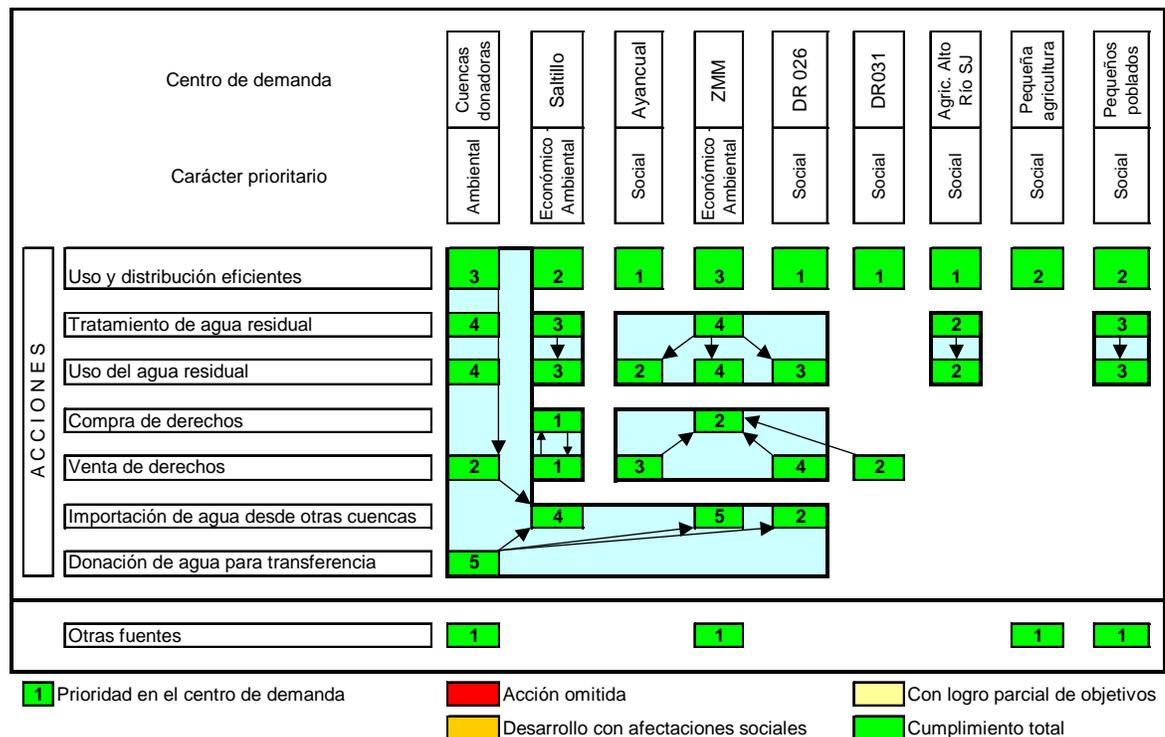
Una dificultad en la planeación del aprovechamiento hidráulico, es la predicción del efecto de las acciones propuestas, en los ámbitos natural y social; y lo más difícil, decidir qué vale más, por ejemplo: el costo económico, el impacto ambiental o el daño a grupos de gente.

De este modo, el desarrollo sustentable no es una tarea unilateral, sino multidisciplinaria, que debe ser sensible a las distintas facetas de la realidad.

El beneficio de una mayoría de habitantes a costa del perjuicio de una minoría, no representa una solución integral. Debe realizarse en un esfuerzo estratégico y suficiente para proteger los derechos y el nivel de vida de todos los habitantes.

De hecho, las acciones que involucran a más de un centro de demanda, deben hacerse en forma coordinada o bajo el riesgo de causar afectaciones imprevistas y enemistad.

Figura V. 1. Estrategia propuesta para cada centro de demanda y prioridad en acciones¹



Para comparar el efecto de las alternativas se analizaron sus efectos en el centro de demanda que las exige y en sus aledaños.

¹ Los números corresponden al orden consecutivo de ejecución, según la evaluación preliminar mostrada en el capítulo anterior.

La discretización de los usuarios en nueve tipos, así como su interacción en los tipos de acción, se relacionan en la Figura V. 1. que en general, define la Propuesta de Aprovechamientos Hidráulicos.

Se observa la interdependencia de las acciones debe considerar los riesgos involucrados, que se incrementan durante las sequías.

La situación de cada centro de demanda, así como su coordinación con los demás, pueden mejorar o restringir las alternativas para el aprovechamiento del agua.

Con base en el análisis de la situación actual y de la tendencia observada de la zona de estudio, se identificó una el estado de desarrollo de las acciones, tal como se resume en el Cuadro V. 1.

Cuadro V. 1. Estado de desarrollo de las acciones en cada centro de demanda de la CRSJ

Centro de demanda	Alternativas					
	Uso y distribución eficientes	Venta de derechos	Compra de derechos	Aprovechamiento de fuentes de cuenca propia	Uso de agua residual	Importación desde otras cuencas
DR031	En proceso	Alternativa				
Montemorelos	De mediano plazo	Alternativa				
Ayancual	Necesaria, con dificultad para realizarse			En proceso		
Saltillo Agr	De mediano plazo	Alternativa			De mediano plazo	
Dr 026	De mediano plazo	Incipientes			De mediano plazo	
ZMM	En proceso		Alternativa	En proceso	De mediano plazo	En proceso
Cd. Saltillo	De mediano plazo		Alternativa		De mediano plazo	De mediano plazo
Pequeña agricultura	Necesaria, con dificultad para realizarse			En proceso	De mediano plazo	
Pequeñas ciudades	De mediano plazo		Alternativa	En proceso		

Acciones inmediatas
 En proceso
 Incipientes
 De mediano plazo
 Alternativa
 Necesaria, con dificultad para realizarse

La interpretación de los antecedentes históricos determina para cada acción, cual es el riesgo de no llevarse a cabo, lo que se resume en la Figura V. 3.

Cuadro V. 2. Descripción de riesgo de omisión en acciones propuestas para la CRSJ

Centro de demanda	Alternativas					
	Uso y distribución eficientes	Venta de derechos	Compra de derechos	Aprovechamiento de fuentes de cuenca propia	Uso de agua residual	Importación desde otras cuencas
DR031	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice				
Montemorelos	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice				
Ayancual	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice			Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice		
Saltillo Agr	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice			Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	
Dr 026	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice			Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	
ZMM	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice		Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice
Cd. Saltillo	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice		Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice		Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice
Pequeña agricultura	Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice			Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice	
Pequeñas ciudades	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice		Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice	Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice		

Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice
 Se atribuye una mayor probabilidad de que se realice

A partir de esta interpretación se propusieron tres escenarios futuros:

1. Escenario crítico
2. Escenario esperado
3. Escenario objetivo de la propuesta

Cabe mencionar que en el *Anexo B*, relativo al Modelo matemático de Simulación Hidrodinámica, se presentan algunos resultados de interés para las predicciones de estos escenarios.

V. 1. ESCENARIO I. CONDICIONES CRÍTICAS

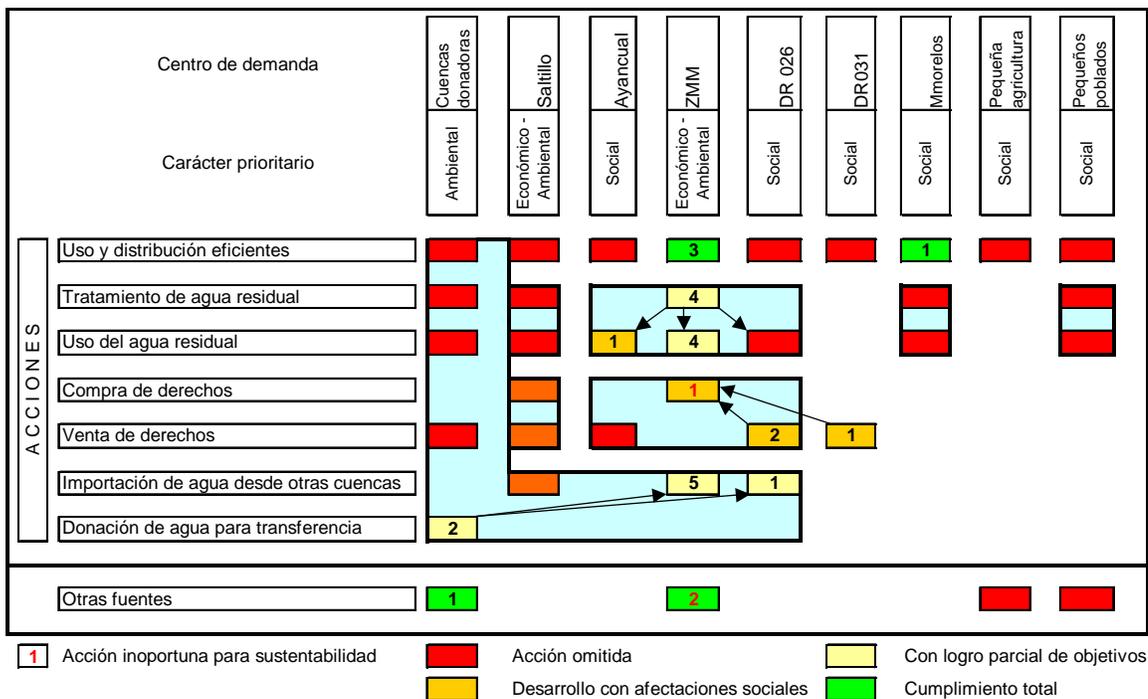
Ante la omisión de acciones necesarias para el progreso en el desarrollo hidráulico de la cuenca, en el Escenario Crítico se deteriora la tendencia actual y se atienden parcialmente emergencias puntuales. El Cuadro V. 3, indica el riesgo de omisión atribuido a los tipos de acción en cada centro de demanda. La Figura V. 2 muestra el efecto en las acciones interdependientes.

Cuadro V. 3. Descripción del riesgo de omisión en condiciones críticas

Centro de demanda	Alternativas					
	Uso y distribución eficientes	Venta de derechos	Compra de derechos	Aprovechamiento de fuentes de cuenca propia	Uso de agua residual	Importación desde otras cuencas
DR031						
Montemorelos						
Ayancual						
Saltillo Agr						
Dr 026						
ZMM						
Cd. Saltillo						
Pequeña agricultura						
Pequeñas ciudades						

	Acciones inminentes		En proceso		Se atribuye una mayor probabilidad de que no se realice
	Incipientes				Necesaria, con dificultad para realizarse

Figura V. 2. Interacción de acciones en las condiciones del escenario crítico



Un rasgo característico de este escenario, es la ausencia de acciones de mejoramiento en las zonas agrícolas y en las localidades urbanas, semiurbanas e inclusive en Saltillo. La calidad de vida se deterioraría debido al deterioro en las condiciones de aprovechamiento del agua.

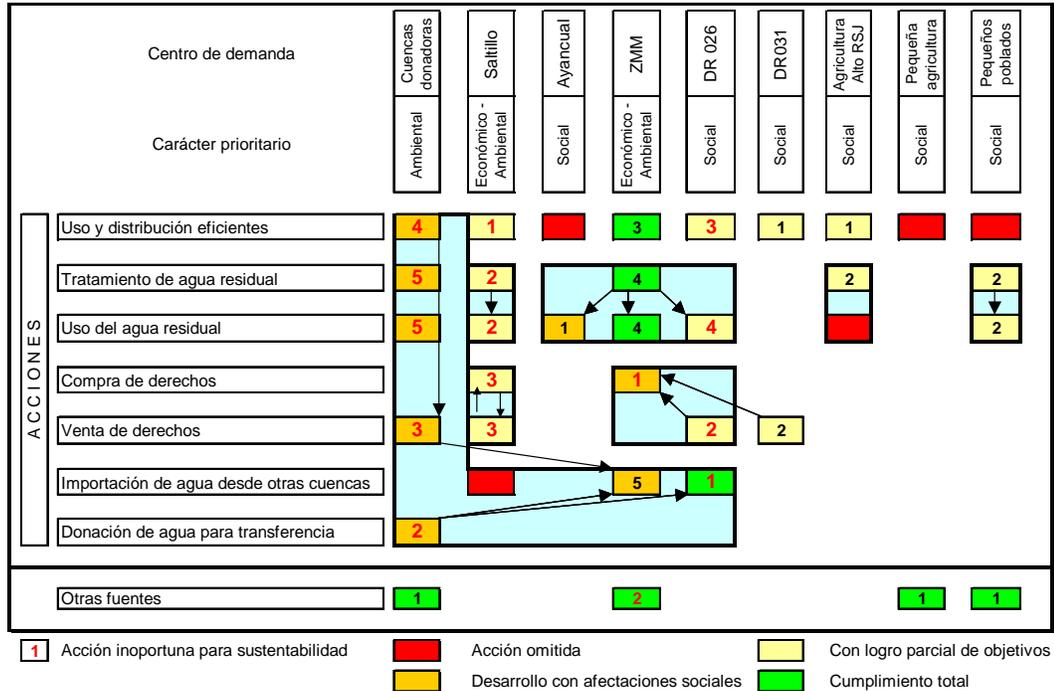
Algunos efectos del escenario crítico serían:

- ❑ La venta de derechos no ocurriría en forma voluntaria, sino a manera de indemnizaciones, con daños socioeconómicos descontrolados.
- ❑ Únicamente se mejoraría parcialmente la eficiencia en el riego en los Distritos de Riego involucrados con el Sistema de ríos que abastecen a la ZMM.
- ❑ No mejoraría la eficiencia de aprovechamiento de agua de la Ciudad de Saltillo, ni de aquellas localidades con menos población que ésta.
- ❑ La carencia en el ordenamiento y regularización de derechos de los usuarios agrícolas, dificultaría la transferencia de derechos.
- ❑ Se harían aquellos proyectos ya estudiados en el PIAAPAMM, para aprovechar el agua de diversas fuentes, para transferirla a la ZMM.
- ❑ Las unidades de riego conservarían la eficiencia actual en el uso del agua, con el riesgo de sobreexplotar sus acuíferos.
- ❑ En la Ciudad de Saltillo, la sobreexplotación de los dos acuíferos locales, se incrementaría con daños económicos y ambientales, parcialmente irreversibles.
- ❑ Ante nuevos conflictos políticos por la presa El Cuchillo, la oposición social restringiría nuevas obras de importación que involucren a otras zonas agrícolas.
- ❑ El descontrol en el manejo del agua residual de las zonas urbanas e industriales, dificultaría su intercambio eficiente por agua de primer uso del sector agrícola.
- ❑ La segunda etapa del proyecto El Cuchillo y los usuarios de las márgenes de los arroyos Ayancual y Pesquería, restringirán el suministro de agua al Distrito de Riego 026.
- ❑ La ineficiencia en el uso compartido del agua en la CRSJ, restringiría el riego de las zonas agrícolas dependientes de las presas El Cuchillo y Cerro Prieto.
- ❑ En ausencia de la transferencia o venta de derechos de agua para la ZMM, en un período del orden de 15 años, sería necesario importar agua desde la cuenca del río Pánuco u otra fuente más costosa.
- ❑ Ante la baja eficiencia en la distribución y el aprovechamiento de las fuentes de Saltillo, resultaría excesivo el costo de los proyectos de importación desde cuencas externas.
- ❑ Se intensificaría el reuso y se incrementaría la eficiencia en el aprovechamiento hidráulico.
- ❑ Tanto la distribución como el uso eficiente del agua en las zonas agrícolas, serían exclusivos para una minoría de usuarios capaces de pagar el costo de las acciones correspondientes a dichas metas.

V. 2. ESCENARIO II. CONDICIONES ESPERADAS

Para este caso, a partir de los antecedentes observados, se establecieron las condiciones atribuibles a la tendencia actual del aprovechamiento hidráulico.

Figura V. 3. Interdependencia de acciones para un escenario esperado



Algunos efectos del escenario esperado serían:

- ❑ Los proyectos de transferencia desde cuencas externas, carecerían de aquellas acciones preliminares y de apoyo, para evitar un impacto social en las cuencas donadoras.
- ❑ La eficiencia en el aprovechamiento de agua en Saltillo mejoraría deficientemente, sin justificar la construcción de un proyecto de importación desde alguna cuenca externa.
- ❑ La deficiente depuración de los usuarios agrícolas de los ríos Ayuncual y Pesquería, dificultaría la transferencia de agua residual desde la ZMM hasta el Distrito de Riego 026.
- ❑ Además del uso eficiente del agua, la ZMM tendría que construir nuevos proyectos de importación desde cuencas externas, sin la solidaridad de posibles donadores.
- ❑ La situación en el Distrito de Riego 026 empeoraría con la nueva etapa del Sistema El Cuchillo, que consiste en el acueducto complementario para extraer su gasto de diseño.
- ❑ En las zonas agrícolas del Alto Río San Juan, los usuarios se mantendrían al margen de la situación general de la CRSJ, en forma autónoma.
- ❑ Las unidades de riego dependerían de las fuentes locales, acuíferos en cuencas con arroyos perennes.
- ❑ Las localidades rurales y semiurbanas, dependerían exclusivamente de sus fuentes locales, y únicamente en las últimas se identificaría un incipiente reuso del agua tratada.

V. 3. ESCENARIO III. RESULTANTE DE LA PROPUESTA

En este escenario se cumplen las acciones prioritarias para cada centro de demanda, sin afectar a los demás. Tres grandes retos de éste, son:

- ✓ Lograr una labor institucional de alta eficiencia, misma que permite la cooperación de los usuarios del agua, para su uso racional.
- ✓ Establecer una normatividad que restrinja a cada uso, el agua de la calidad adecuada para su desempeño, para optimizar la disponibilidad.
- ✓ La transferencia de agua desde fuentes distantes hacia las grandes ciudades, debe mejorar las condiciones de vida de todos los habitantes de las cuencas donadoras y receptoras.

El Cuadro V. 4, presenta la ubicación de las acciones propuestas, ubicadas en los principales centros de demanda.

Cuadro V. 4. Descripción del riesgo de omisión de las acciones propuestas en condición objetivo

Centro de demanda	Alternativas					
	Uso y distribución eficientes	Venta de derechos	Compra de derechos	Aprovechamiento de fuentes de cuenca propia	Uso de agua residual	Importación desde otras cuencas
DR031	Realizada	Realizada				
Montemorelos	Realizada	No realizada				
Avancual				Realizada		
Saltillo Agr	Realizada	Realizada			Realizada	
Dr 026	Realizada	Realizada			Realizada	
ZMM	Realizada		Realizada	Realizada	Realizada	Realizada
Cd. Saltillo	Realizada		Realizada		Realizada	Realizada
Pequeña agricultura	Realizada			Realizada	Realizada	
Pequeñas ciudades	Realizada		Realizada	Realizada		

No realizada
 Realizada

Al analizar la situación de los agricultores, se determinó que la escasez de agua que los aqueja, repercute en la productividad de sus tierras y los afecta directamente en su nivel de vida, pues no sólo se reduce la productividad económica, sino la actividad social en general.

La prioridad resultante de los grupos de acciones propuestas atiende al siguiente orden:

1. Aprovechamiento sustentable de fuentes de cuenca propia,
2. Uso eficiente y controlado,
3. Importación desde otras cuencas (con apoyo de otros sectores productivos),
4. Reuso,
5. Transferencia de derechos.

Esta jerarquización se subordina a las circunstancias de cada zona agrícola, así, por ejemplo, la mayoría carecen de posibilidades para importar el agua; otras carecen de otras fuentes de cuenca propia, etc. La ausencia de cada alternativa, conlleva al seguimiento de las siguientes, en orden progresivo.

En muchos casos, las alternativas corren riesgo de no llevarse a cabo debido a causas impredecibles, por lo cual se enfatiza cuáles serían los problemas resultantes de su fracaso.

Se atribuye a las ciudades el escenario determinado para el ámbito económico o ambiental, que asigna la siguiente prioridad a las acciones:

- I. Otras fuentes de cuenca propia,
- II. Transferencia de derechos,
- III. Uso eficiente y controlado,
- IV. Reuso y reciclaje,
- V. Importación desde otras cuencas.

A continuación se describen con mayor detalle, las acciones y efectos esperados de la Propuesta.

V. 3. 1. Propuesta para cuencas externas a la CRSJ

Será indispensable la construcción de obras de importación de agua desde cuencas externas para asegurar la suficiencia de suministro de agua a la ZMM y en el mediano plazo, quizás para Saltillo. Estos proyectos auxiliarían el suministro de agua potable a las localidades que se encuentren cerca de los acueductos.

- ❑ Se haría la compra de derechos del agua, únicamente al asegurar que dicha actividad incluya otras acciones secundarias que no afecten las condiciones de vida de los habitantes de las cuencas donadoras y de las zonas afectadas.
- ❑ La presa El Cuchillo tendería a asegurar deficiencias inferiores del 5% en el Riego de los Distritos de Riego 026 y 031, o mayores únicamente en caso de que se compren los derechos del agua, del modo que se describe en el inciso anterior.
- ❑ La exportación de agua desde las cuencas donadoras, únicamente se efectuaría una vez que se asegure el suministro de cuenca propia, en condiciones de equilibrio sostenible.

V. 3. 2. Propuesta para la Zona de Saltillo y sus inmediaciones

Esta zona se encuentra lejos de los principales cuerpos de agua de la CRSJ. Esto, junto con la sobreexplotación, contribuye a la desertificación del medio y al deterioro de sus fuentes de abastecimiento.

La zona agrícola de Saltillo carece de fuentes alternas y cercanas para complementar la oferta local, mientras que la importación de agua implica costos inaccesibles para los usuarios agrícolas.

Aunque se procuraría un uso racional del agua subterránea en el acuífero de Saltillo, el crecimiento de la oferta para fines ajenos al agrícola, atenderá a las siguientes acciones en forma progresiva:

1. *Aprovechamiento del agua disponible en el acuífero Saltillo Sur.* En coordinación con el control de las extracciones para uso agrícola y la reducción de la sobreexplotación del acuífero de Saltillo – Ramos Arizpe.
2. *Reducción de las extracciones de agua subterránea para uso agrícola.* Por medio de programas de tecnificación coordinados con la zona urbana e industrial, que en conjunto con una transferencia de derechos, permitirían el desarrollo sustentable de la agricultura, la estabilización del acuífero y una alternativa de bajo costo para incremento de la oferta en la zona urbana.

3. *Reducción de fugas en las redes de distribución de agua potable.* Que actualmente fluctúan entre 40% y 50%.
4. *Intensificación del reuso del agua residual tratada.* En la medida de lo posible, con el suministro de agua residual tratada a zonas agrícolas locales, para reducir su demanda de agua subterránea.
5. *Importación de agua desde Cuencas Externas.* Posiblemente mediante proyectos conjuntos con la ZMM, que reducirían el costo unitario del agua para ambas urbes. Esta alternativa podría ser de interés en la segunda mitad del Siglo XXI.

Cabe mencionar que en el segundo inciso, la reducción de las extracciones únicamente se efectuaría en la medida que se incremente la eficiencia en el uso del agua o se transfieran parcialmente los derechos de dicho sector, al uso público – urbano.

La importancia del acuífero Saltillo Sur, para la Ciudad de Saltillo y sus alrededores, es determinante. Basta con decir, que si dicho acuífero no existiera, la necesidad de importar agua desde fuentes lejanas, aumentaría considerablemente, así como el costo del agua.

Las acciones 3, 4 y 5 podrían reducir la demanda de agua de fuentes lejanas, casi indefinidamente, según el crecimiento de la población en el largo plazo.

Figura V. 4. Oferta de agua a la Ciudad de Saltillo, de acuerdo con la propuesta

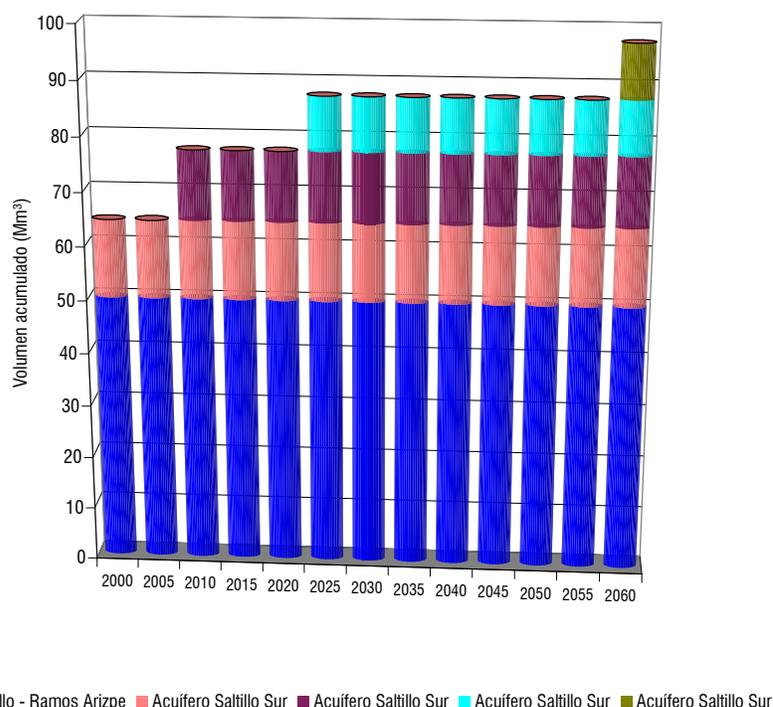
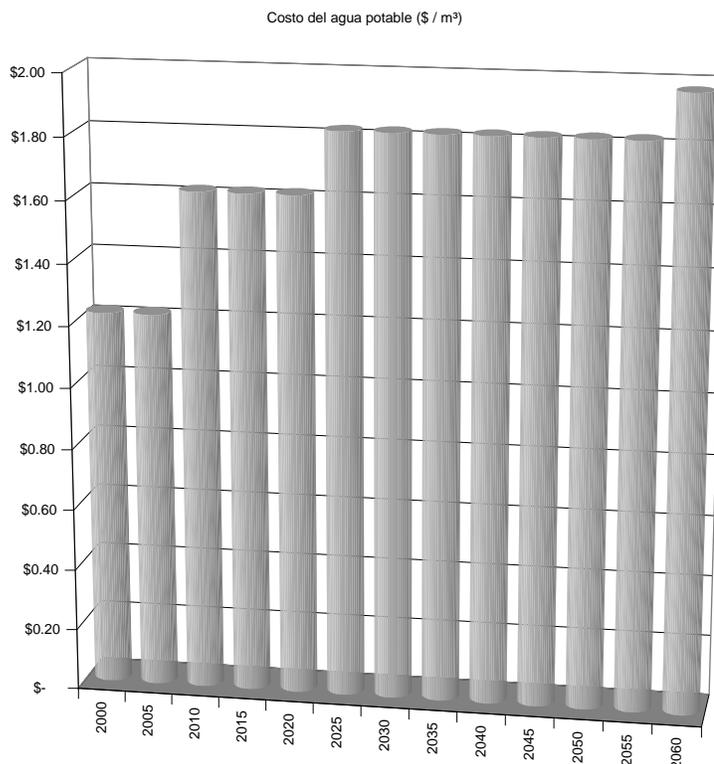


Figura V. 5. Evolución del costo unitario del agua potable en Saltillo, como efecto de la propuesta



V. 3. 3. Propuesta para el Distrito de Riego 026, Bajo Río San Juan

Tal como se ha descrito, ya que el Distrito de Riego 026 se encuentra en la parte más baja de la cuenca, es un sitio en el cual se acumula el efecto de la escasez general de agua en la cuenca. Aparentemente, únicamente puede importar agua desde el río Alamo, y no cuenta con fuentes locales que no se encuentren ya aprovechadas o comprometidas.

Las acciones de la propuesta presentan el siguiente orden prioritario:

- ✓ Uso y distribución eficientes del agua empleada en el riego. Incremento de la eficiencia, desde un 40% hasta un 60%.
- ✓ Continuar con el aprovechamiento del agua de la Cuenca del Río Alamo.
- ✓ Aprovechamiento del agua residual tratada de la ZMM.
- ✓ Transferencia o venta de derechos a la Zona Metropolitana de Monterrey.

La última alternativa, debe constituir parte de un programa de acciones de desarrollo de la Cuenca y de sus comunidades, con el propósito de que todos sus involucrados resulten beneficiados.

Cabe mencionar que las primeras tres afectaciones deben apegarse a los compromisos establecidos entre los Gobiernos Estatales de Nuevo León y Tamaulipas, a raíz de la construcción de la Presa El Cuchillo, además de compensar a todos los afectados y no únicamente a los derechohabientes de agua en el Distrito de Riego.

V. 3. 4. Propuesta para el Distrito de Riego 031, Las Lajas

A partir del inicio de operación de la presa El Cuchillo, el Distrito de Riego 031 dependió de las descargas de dicha presa hacia el Río San Juan. Ya que su superficie agrícola no es muy grande, su demanda tampoco lo es; sin embargo, siempre ha dependido del uso de aguas de primer uso, lo cual lo involucra en la competencia por el agua con la ZMM. De acuerdo con el *Reglamento de operación de la CRSJ*, esta zona agrícola se riega exclusivamente cuando la presa El Cuchillo dispone de suficiente agua para el abastecimiento de Monterrey.

Este centro de demanda, carece de fuentes alternas que permitan sustituir el agua provista por el río San Juan, además de que los costos que implicaría importar agua desde fuentes lejanas, resultan muy altos como para importar grandes volúmenes.

De este modo, las acciones en las que puede incidir esta zona agrícola son de dos tipos:

- ✓ Uso eficiente y controlado y
- ✓ Venta o transferencia de derechos de uso de agua a la ZMM.

V. 3. 5. Propuesta para las zonas agrícolas del Alto Río San Juan: Montemorelos, Ramos y Blanquillo

Con base en la información obtenida, se dedujo que en estas zonas agrícolas no existen problemas de insuficiencia de agua, excepto durante sequías. No hay competencia por el agua con los nueve usuarios clasificados en la figura V. 1 y disponen del agua subterránea del acuífero Zona Citrícola Norte.

En esta zona no existe interés de comprar ni vender derechos del agua para fines agrícolas, para abastecimiento de la ZMM, pues además de su alta productividad en la agricultura, su afectación en el caso de que se le comprara el agua, afectaría gravemente a sus usuarios, a cambio de un beneficio casi imperceptible en la zona urbana.

Al descartar la importación de agua desde otras fuentes y la venta de derechos, resultan tres grupos de actividades prioritarias para enfrentar la insuficiencia:

- ✓ Aprovechamiento del acuífero de la Zona Citrícola Norte, en la medida en que no se sobreexplota y resulte más económico que la siguiente actividad.
- ✓ Uso y distribución eficientes. Se reportan eficiencias en el riego del orden del 30% en las unidades de riego, mejorables hasta en un 100%.
- ✓ Uso de agua residual tratada. Especialmente de Montemorelos y pequeñas localidades, lo cual resulta una medida complementaria para satisfacer la demanda agrícola.

V. 3. 6. Propuesta para la Zona agrícola de los ríos Ayancual y Pesquería

Esta zona dispone en forma constante y gratuita, de aguas crudas para riego; sin embargo, dispone de dicho recurso en forma ineficiente y desordenada. El volumen de agua subterránea disponible, es mínimo, casi despreciable y poco atractivo debido a su mayor costo y menor contenido de materia orgánica.

Existe un control mínimo del aprovechamiento de agua en esta zona, lo que dificulta la coordinación de los usuarios para su participación en proyectos de uso eficiente del agua. A muchos de los usuarios de ésta zona se les ha denominado "clandestinos", de modo que no se les

confiere el derecho al uso del agua residual, por lo cual no pueden participar eficientemente en un proceso de venta de derechos.

Para llevar a cabo en forma eficiente cualquier acción en esta zona agrícola, es necesario su previo ordenamiento y regularización de derechos.

De este modo, la prioridad de las acciones en este centro de demanda, responde al siguiente orden:

- ✓ Ordenamiento y regulación de derechos al uso del agua
- ✓ Uso y distribución eficientes del agua para riego
- ✓ Coordinación con el Distrito de Riego 026 para el futuro aprovechamiento del agua residual urbana.

Si la demanda de agua potable aumenta según la tendencia observada, para la cuarta década del Siglo XXI, la generación de agua residual ofrecerá a la agricultura de riego, un volumen de agua del orden del que se le ha restringido por el Proyecto El Cuchillo.

V. 3. 7. Unidades de riego y pequeñas zonas agrícolas

Para estas áreas no es redituable la importación desde cuencas externas y la transferencia de derechos resulta aún innecesaria. Las opciones resultan:

- ✓ Aprovechamiento de fuentes de cuenca propia,
- ✓ Uso eficiente y controlado del agua y en los casos que lo merezca,
- ✓ El uso de agua residual tratada.

Es necesario prever el desarrollo de estas pequeñas zonas y procurar su ordenamiento y crecimiento, para evitar su futura interferencia entre sí y con otros usuarios que demandan agua en la cuenca, la sobreexplotación de acuíferos y la desertificación del medio.

Las restricciones económicas representan una causa que impide el desarrollo de las dos últimas acciones; por lo que se recomienda el apoyo con recursos externos, siempre que se compruebe que resulta una inversión para mejorar la calidad de vida actual y de las siguientes generaciones.

V. 3. 7. 1. Propuesta para la Zona Metropolitana de Monterrey

Ya que en la ZMM residen más de cuatro millones de habitantes y cuenta con una gran industria, la escasez del agua es capaz de producir graves estragos que han conllevado a los habitantes a su coordinación y participación en acciones relacionadas a todo el marco estratégico.

El Cuadro V. 5, resume el orden prioritario de las acciones y sus beneficios, sus obstáculos y los efectos de su omisión.

Cuadro V. 5. Descripción de las acciones propuestas para el desarrollo hidráulico de la ZMM

Estrategia				
Prioridad	Alternativas	Beneficios que implican las acciones	Causas probables para no realizar las acciones	Consecuencias de no efectuar las acciones
1	Otras fuentes de cuenca propia	Incremento en la oferta		Insuficiencia de agua en la ZMM
2	Transferencia de derechos	Incremento en la oferta de la presa El Cuchillo	Desacuerdo entre los habitantes de la ZMM y del DR 026, Bajo S. J.	Insuficiencia de agua en la ZMM
3	Uso eficiente y controlado	Reducción de la demanda en casi un 15%		Desperdicio del 20% del agua
4	Reuso y reciclaje	Reducción de demanda de importaciones	Compromisos con el DR026 y con los agricultores de Ayuncual y Pesquería	Insuficiencia de agua en la ZMM
5	Importación desde otras cuencas	Acciones auxiliares para reducir el déficit	Problemas políticos entre NL y Tamps	Insuficiencia de agua en la ZMM

Ante la restringida disponibilidad de agua de primer uso de las fuentes de abastecimiento de la CRSJ, para la ZMM; la transferencia de derechos cobra una importancia primordial.

La transferencia de derechos de agua, depende de una gestión que favorezca a todos los habitantes de las zonas donadoras del agua y no únicamente de una negociación monetaria entre representantes. De otro modo, los daños sociales y políticos sentarán un mal antecedente que dificultará la cooperación futura de otras zonas de interés; que ofrecerán resistencia a cooperar.

A su vez, la transferencia de derechos constituye la alternativa más económica para la ZMM; pero subordinada al desarrollo de acciones paralelas y de apoyo para favorecer a todos los involucrados.

Para el caso de la compra de derechos al Distrito de Riego 026, basta aproximadamente con la transferencia de los derechos de la tercera parte de su superficie agrícola, para permitir que las extracciones de la presa el Cuchillo, se incrementen hasta un promedio de 10 m³/s; mismas que, debido a aspectos hidrológicos, difícilmente podrán incrementarse.

La tasa de crecimiento de la población, se propuso del mismo orden que la del uso industrial y al considerar que pocos años después del año 2000, prácticamente la totalidad de la demanda para fines industriales puede ser satisfecha con agua residual cruda o tratada, resulta un volumen de agua residual a futuro, del orden del 46 % del volumen consumido de agua potable en la ZMM.

Esto significa que si los usuarios de agua potable no recurren al reciclaje de agua residual para consumo humano (debido a sus riesgos y a su alto costo), el uso de agua en la ZMM, en la cuarta década del Siglo XXI, será capaz de generar un volumen de agua residual tratada, suficiente para restituir el riego a un tercio de Distrito de Riego 026, con un posible intercambio de agua de primer uso por agua residual tratada.

V. 3. 8. Propuesta para pequeños poblados o localidades semiurbanas y rurales

A diferencia de las grandes ciudades, las pequeñas localidades son incapaces de importar el agua desde cuencas externas, debido a los elevados costos unitarios por metro cúbico de agua que implicaría dicha acción.

Para mejorar el nivel de vida de los habitantes de éstas localidades, se proponen primordialmente las siguientes acciones, en orden de prioridad:

- ✓ Aprovechamiento de fuentes locales
- ✓ Incremento en la eficiencia del uso y de la distribución
- ✓ Tratamiento y uso de agua residual (en localidades semiurbanas)

El reuso depende de una demanda potencial en la localidad que lo requiera, mientras que la transferencia de derechos y el uso de otras fuentes de cuenca propia, de la existencia de usuarios agrícolas y de fuentes alternas de abastecimiento.

El hecho de que se ponga en orden de menor prioridad al uso eficiente y controlado, con respecto a la transferencia de derechos, se deriva de que mediante el uso eficiente del agua para uso público, únicamente se obtiene un beneficio inmediato inicial que representa un ahorro del orden del 30% con respecto a la demanda, pero ante el crecimiento de la población, que presenta una tasa de hasta 3% anual (en la mayoría de los municipios), esta acción únicamente permitiría mejorar la situación de disponibilidad durante aproximadamente cinco años, mientras que la transferencia de derechos, permite aprovechar en forma inmediata, por cada hectárea de riego sacrificada (convertida en superficie de riego por temporal), agua para aproximadamente 80 personas.

Por último, aunque no se considera como alternativa el suministro de agua de otras cuencas para estas localidades, el desarrollo de proyectos de dicho tipo de proyectos para la ZMM, puede compartir sus costos y beneficios con aquellas localidades que lo justifiquen, por ejemplo, aquellas cercanas a los acueductos y a las presas.

CONCLUSIONES

1. El incremento gradual de agua residual de la ZMM, producto del uso de agua importada desde otras cuencas, será de gran relevancia para el desarrollo agrícola de la CRSJ en las próximas décadas.
2. La prioridad de las alternativas para asegurar la suficiencia de agua de la CRSJ, presenta el siguiente orden de importancia:

Para uso público – urbano en las poblaciones
1. Aprovechamiento de fuentes locales de abastecimiento.
2. Transferencia de derechos en función de un incremento compensatorio de eficiencia en las zonas agrícolas (que asegure la continuidad de la productividad) y un intercambio de agua residual tratada, por agua de primer uso, entre usuarios público – urbanos y agrícolas.
3. Incremento en la eficiencia de distribución y uso del agua.
4. Uso de agua residual tratada, para los fines que lo demanden, normatividad usos – calidad.
5. Importación de agua desde cuencas lejanas – con promoción de transferencia de derechos e incremento de eficiencias en las cuencas donadoras

Para uso agrícola, en los Distritos y Unidades de Riego.
1. Aprovechamiento de fuentes locales de abastecimiento.
2. Incremento en la eficiencia de distribución y uso del agua.
3. Importación de agua desde cuencas externas ¹ .
4. Uso de agua residual tratada.
5. Transferencia de derechos a usuarios público – urbanos, en función de un incremento compensatorio de eficiencia en las zonas agrícolas (que asegure la continuidad de la productividad).

En ausencia de una o más de las alternativas, debe preverse la capacidad total de las factibles y programar la reducción o control de la demanda mediante nuevas actividades que requieran una menor cantidad de agua o con la emigración hacia zonas con mayor disponibilidad.

¹ Se refiere exclusivamente al uso de aguas del arroyo El Alamo, mediante el proyecto “Las Blancas”, en el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan.

3. Los problemas que ponen en riesgo el éxito del desarrollo hidráulico en la Cuenca del Río San Juan, son:

El crecimiento descontrolado de la agricultura en las márgenes de los arroyos Ayancual y Pesquería, con capacidad de disponer ineficientemente de la totalidad del agua residual efluente de la ZMM.
La suficiencia de agua para los distritos de riego se encuentra en función de acciones incipientes (concesión de aguas residuales y tecnificación).
El marco legal asigna la escasez de agua a la agricultura y principalmente al Distrito de Riego 026, a su vez, fomenta la venta de derechos de agua del mismo.
La incidencia de sequías de magnitud extrema e inesperada.
La dificultad para coordinar y educar a los habitantes, para hacer un uso eficiente y organizado del agua.
La pobreza que aqueja especialmente a los agricultores y dificulta sus inversiones para un uso eficiente del agua.

4. La eventual carencia de agua en la ZMM garantiza la escasez de dicho recurso en el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan.
5. En el corto y mediano plazo, será inevitable e indispensable el uso eficiente del agua en todas las zonas agrícolas que comparten sus fuentes de abastecimiento con ciudades.
6. La alta cuenca del río Pánuco representa una zona atractiva para la realización de proyectos de transferencia de agua a la Zona Metropolitana de Monterrey, ya que no dicha cuenca no presenta graves problemas de disponibilidad de agua y el desnivel topográfico es menor que en la planicie costera.
7. Según su costo y conveniencia a mediano plazo, la única alternativa de importación de agua desde otras cuencas hasta la Ciudad de Saltillo, es la presa Venustiano Carranza. Resulta atractivo transferir el agua desde la Zona Metropolitana de Monterrey.
8. Los registros pluviométricos e hidrométricos del sistema de cuencas que integran la Cuenca Hidrológica del Río San Juan, presentan deficiencias que dificultan el cálculo del escurrimiento por cuenca propia y la representatividad de su análisis estadístico.
9. Las tácticas de corto plazo se definen en función de la inmediata y previa ocurrencia de períodos de sequía o lluvia extraordinaria.
10. En zonas sin almacenamiento, rigen los valores de “mediana estadística”, pues las lluvias extraordinarias ocurridas en los años húmedos, no compensan los daños que producen los años secos.
11. Las estrategias en zonas con suficiente almacenamiento, se fundamentan en los valores “promedio” de escurrimiento.

BIBLIOGRAFIA

1. Acosta Godínez, Modesto Antonio. *Tesis para obtener el grado de maestro en Ingeniería Hidráulica. Análisis de la Operación de la Cuenca Mexicana del Río Bravo (Grande)*. UNAM, México, D. F. 1988.
2. Bufete de Soluciones Integrales, S. C. Sistema de información geográfica nacional (SIGMAS). *Aspectos demográficos, fisiografía y localización de acuíferos. Escalas variables (1:250,000 a 1:1'000,000)*, México, D. F. Marzo de 2001.
3. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. México, D. F., diciembre, 1992.
4. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. *Sinopsis geohidrológica del estado de Nuevo León (Versión preliminar)*. México, 1995.
5. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura hidráulica urbana e Industrial. Gerencia Coordinadora de Grandes Proyectos. Consultores en Ingeniería y Proyectos, S.A. de C.V. *Balance hidráulico y políticas de operación del sistema regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan*. México, D. F., 1992.
6. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Subdirección General de Programación. *Costos Estimados parra Proyectos de Infraestructura Hidráulica*. México, D. F. 1998.
7. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Gerencia de Distritos de Riego. *Características de los Distritos de Riego, año agrícola 1990*. México, D. F. 1991.
8. Comisión Nacional del Agua. SEINPRO. *Estudio de Fuentes de Abastecimiento a Monterrey*. México, D. F. 1988.
9. Comisión Nacional del Agua. SEINPRO. *Estudio del aprovechamiento de la cuenca del río Soto La Marina para abastecimiento de agua a Monterrey, N. L.* México, D. F. Octubre, 1990.
10. Comisión Nacional del Agua. Consultores en Ingeniería y Proyectos, S. A. *Estudio hidrológico definitivo del proyecto El Cuchillo, para suministro de agua a la Ciudad de Monterrey, N. L.* 11 de diciembre de 1989.
11. Comisión Nacional del Agua. APISA. *Los Recursos Hidráulicos en México. Balances Hidráulicos y proyecciones demográficas*, México, D. F. 1997.
12. Diario Oficial del 30 de marzo de 1946. *Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y lo Estados Unidos de América, de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo*. México, D. F., 1946.
13. Diario Oficial de la Federación. *Declaración de aguas de la Cuenca del Río San Juan, como propiedad nacional*. México, D. F. 1917.
14. Diario Oficial de la Federación. *Decreto de veda, con concesión de aguas de la Cuenca del Río San Juan al distrito de riego 026, Bajo San Juan, mediante su aprovechamiento con la presa Marte R. Gómez (El Azúcar)*. México, D. F. 1952.

15. Diario Oficial de la Federación. *Confirmación de la primera etapa del Sistema Linares – Monterrey*. México, D. F. 1980.
16. Diario Oficial de la Federación. *Negativa de segunda etapa del proyecto de Linares – Monterrey y confirmación de la construcción de la presa El Cuchillo*. México, D. F. 1988.
17. Diario Oficial de la Federación. *Acuerdos presentados al Ejecutivo Federal, para que integre al reglamento el control de la extracción y utilización de las aguas del Sistema Hidráulico del Río San Juan*. México, D. F. 1990.
18. Golubev, Genady N., Biswas, Asit K. *Interregional Water Transfers*. Pergamon Press. U.S.A. 1979.
19. Gobierno del Estado de Nuevo León, *Agua para Monterrey: La obra del Siglo. Con Hechos, la Revolución cumple su promesa a Nuevo León.* 1984.
20. Hall, Warren A, y Dracup, John A. *Water Resources Engineering*. Editorial McGraw Hill. U.S.A. 1970.
21. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Nuevo León, resultados definitivos, Tomo I. IX Censo General de Población y Vivienda, 1990*. Ags., Ags., 1990.
22. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Cartas topográficas, escala 1:250,000 y espaciomapas (1:700,000)*. Ags., Ags, 1992.
23. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua. *Sistemas de consulta realizados por el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua: CD – HIDROS y ERIC*, 1995, Morelos, México.
24. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Anuario Estadístico del Estado de Nuevo León*, Ags., Ags. 1995.
25. J. D. Salas, J. W. Dellewr, V. Yevjevich y W. L. Lane. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications, U. S. A. 1980.
26. Mays, Larry, W. *Hydrosystems. Engineering and Management*. Editorial McGraw Hill. U.S.A. 1992.
27. Readers Digest, *Atlas de la República Mexicana*, México, 1978.
28. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. *Agua y Sociedad: Una historia de las obras Hidráulicas en México*. Grupo Editorial Códice. 1988.
29. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, *Boletín Hidrológico N° 53. Región hidrológica No. 24*. México, 1973.
30. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. *Plan Nacional Hidráulico 1981*. México, 1981.
31. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. *Análisis de las Sequías en México*. México, 1978.
32. Secretaría de Turismo. *El Estado de Nuevo León*. México, 1996
33. Secretaría de Turismo. *El Estado de Tamaulipas*. México, 1996

ANEXO A. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

INDICE TEMÁTICO

Anexo A.	Análisis hidrológico	127
A.1.	Clasificación y depuración de la información hidrológica	127
A.2.	Análisis estadístico de los registros hidrológicos	127
A.3.	Cálculo de escurrimientos “vírgenes”	128
A.4.	Cálculo de escurrimientos “sintéticos”	128

INDICE DE FIGURAS

Figura A. 1.	Distribuciones de probabilidad de escurrimiento “virgen” anual y de no excedencia, entradas a la presa Marte R. Gómez (1948 – 1998)	128
Figura A. 2.	Ajuste de una curva cíclica en el análisis de tendencias de la precipitación de la CRSJ	129
Figura A. 3.	Correlograma anual de escurrimientos “vírgenes” para la CRSJ	129
Figura A. 4.	Correlograma mensual de los escurrimientos de la estación China	130

Anexo A. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

En este Anexo se muestra el procesamiento de la información hidrológica, fundamental para comprender las causas y los efectos de los distintos agentes que definen la disponibilidad de agua en la zona de estudio.

A.1. CLASIFICACIÓN Y DEPURACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Para analizar las características del ciclo hidrológico en la Cuenca del Río San Juan y de sus alrededores, se analizaron todas aquellas estaciones meteorológicas comprendidas dentro del área de la primera y otras representativas de sus alrededores. Fueron también de gran importancia, los registros de extracción de agua de las fuentes de abastecimiento.

Los registros hidrológicos mensuales empleados en el análisis hidrológico de la zona de estudio, se presentan en el anexo de archivos magnéticos y representan los siguientes temas:

1. Precipitación mensual.
2. Hidrometría mensual.
3. Evaporación mensual.
4. Almacenamiento mensual en presas.
5. Extracciones de agua de las obras de abastecimiento.
6. Usos del agua calculados para distintas fuentes de demanda.
7. Proyección de la demanda en los distintos centros de consumo (agrícolas, urbanos e industriales).
8. Proyección demográfica en distintos municipios de la zona de estudio.

En diversos casos se presentaron registros incompletos, lo cual se confrontó con la generación de información faltante mediante técnicas indirectas.

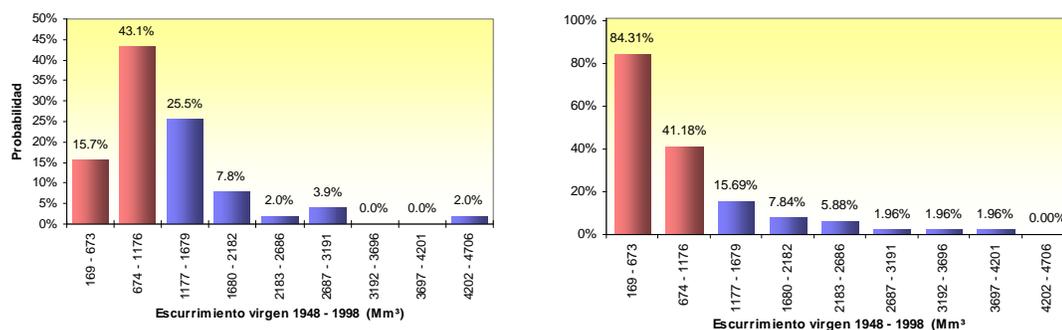
A.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS REGISTROS HIDROLÓGICOS

Las siguientes gráficas muestran la probabilidad de excedencia y la frecuencia por clase de los escurrimientos “vírgenes” calculados para la cuenca del río San Juan. Cabe mencionar que el escurrimiento virgen hasta la presa Marte R. Gómez es del orden de 1,147 Mm³, el total es de 1,208 Mm³.

En esta zona desértica, de clima extremo, los valores promedio de precipitación y de escurrimiento, no resultan un parámetro suficiente, para describir la disponibilidad del agua en la zona. En general los años suelen ser muy secos, pues sólo uno de cada cinco años la precipitación anual rebasa el valor promedio, debido a copiosas tormentas ciclónicas.

Por este motivo, el abastecimiento durante los años “secos” (de escurrimiento menor al promedio), dependen de almacenamientos de gran capacidad, que permitan la captación del escurrimiento de los años “húmedos”.

Figura A. 1. Distribuciones de probabilidad de escurrimiento “virgen” anual y de no excedencia, entradas a la presa Marte R. Gómez (1948 – 1998)¹



Frecuencias 1948 – 1998 hidrovirg. xls

Se observó que el escurrimiento “mediano” (con un 50% de probabilidad anual de ocurrencia), del orden de 460 Mm³, equivale aproximadamente al 40% del escurrimiento promedio anual, de 1,110 Mm³.

A.3. CÁLCULO DE ESCURRIMIENTOS “VÍRGENES”

El análisis geométrico de la zona de estudio, permitió inferir la distribución de la lluvia, del escurrimiento y de la demanda. Fue de especial importancia la generación de escurrimientos “vírgenes”, calculados a partir de los registros complementados de oferta y demanda.

Los registros “vírgenes” calculados, fueron comparados con los registros de lluvia, a partir de lo cual extendió el registro de escurrimientos “vírgenes”.

Únicamente por medio de los escurrimientos vírgenes se establecen hidrológicamente los escenarios futuros.

Para su cálculo, se desarrollaron los siguientes pasos.

1. Inicialmente se analizaron los registros hidrométricos.
2. Posteriormente se revisaron los usos.
3. Se propusieron coeficientes de retorno.
4. Se estimaron pérdidas por evaporación en presas.
5. Para cada área de captación se sumaron extracciones y evaporaciones acumuladas aguas arriba y se restaron los retornos. Esta tarea únicamente se efectuó en aquellos meses que registran un escurrimiento mayor a cero, de modo que se evita la generación de escurrimientos excesivos o puramente hipotéticos.

A.4. CÁLCULO DE ESCURRIMIENTOS “SINTÉTICOS”

Los escurrimientos “sintéticos” son registros generados matemáticamente, que poseen en forma aproximada las mismas propiedades estadísticas (media, variancia y sesgo, principalmente) que las muestras de escurrimientos reales. Para lograr este propósito se propusieron modelos

¹ En el eje de las abscisas se presentan las medias de clase para cada rango de la muestra.

“estocásticos” para la generación de futuros escurrimientos vírgenes así como de registros faltantes.

Otro propósito de la generación de escurrimientos sintéticos para complementar la propuesta de aprovechamientos hidráulicos, fue la evaluación del impacto de sequías y de lluvias extraordinarias en la zona de estudio.

Se consideró que el pronóstico requiere de escurrimientos sintéticos “vírgenes” para más de trece subcuencas tributarias, mismo que requeriría de un modelo estocástico multivariado, de poca confiabilidad y viabilidad, debido a que se desconoce las condiciones de aprovechamiento mensual de agua superficial a través de la historia en cada subcuenca y los registros hidrométricos están incompletos y en muchos casos, afectados por el régimen de operación de las grandes presas. Se dependería de múltiples suposiciones para el cálculo de escurrimientos “vírgenes” por cuenca propia, que conllevarían a la “modelación de supuestos” más que a la modelación de los escurrimientos.

Los registros de lluvia y escurrimiento, se analizaron detalladamente, a nivel mensual, para todas las estaciones ubicadas dentro de la CRSJ. A partir de ello, fue posible el cálculo de lluvia y escurrimiento para el período histórico, dentro de cada una de las subcuencas propuestas por GASIR y para la modelación matemática de la cuenca.

Para estudiar la teoría de modelación estocástica de series de tiempo, se recomienda la consulta del libro: Salas, Delleur, “Applied modeling of hydrologic time series”, así como cursar la asignatura de Hidrología Estocástica, en la DEPTI.

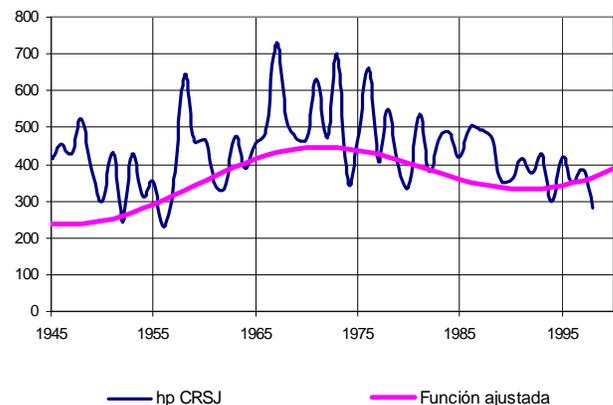
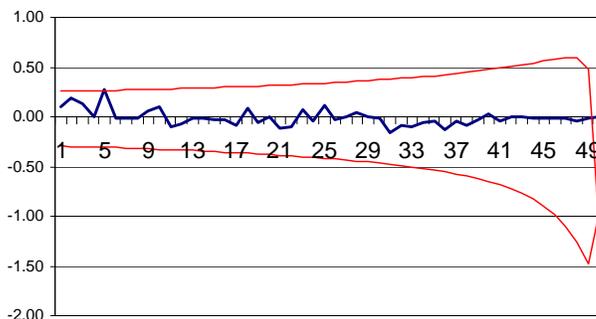
Figura A. 2. Ajuste de una curva cíclica en el análisis de tendencias de la precipitación de la CRSJ

ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS LINEALES Y CÍCLICAS DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

Con el propósito de identificar los componentes cíclicos de la precipitación, se hizo un esfuerzo por ajustar funciones senoides a la serie de lluvias anuales; pero los resultados no fueron de utilidad.

CORRELOGRAMA DE UNA SERIE ANUAL

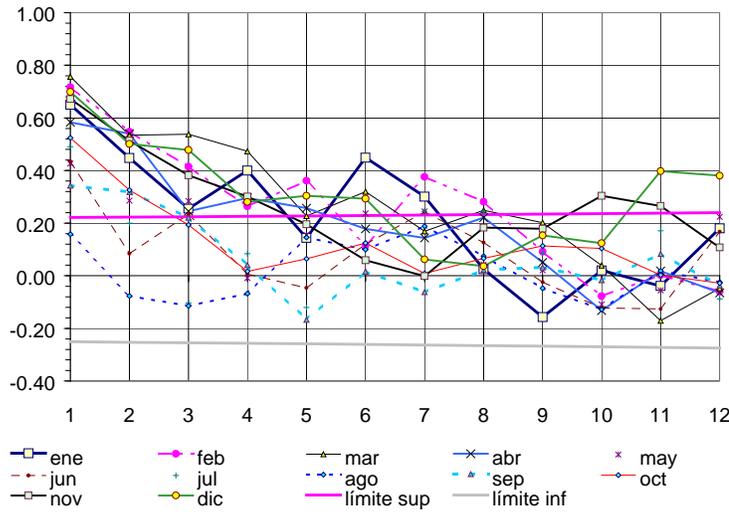
Figura A. 3. Correlograma anual de escurrimientos “vírgenes” para la CRSJ



El análisis de la precipitación y del escurrimiento anual para la totalidad de la CRSJ, permitió la generación de registros sintéticos para series anuales, mediante el método autorregresivo de un parámetro AR(1). Los coeficientes de autocorrelación cumplieron con las pruebas de bondad de ajuste al no encontrarse en más de un 10 % por fuera de los límites de confiabilidad.

ANÁLISIS DEL CORRELOGRAMA DE UNA SERIE PERIÓDICA

Figura A. 4. Correlograma mensual de los escurrimientos de la estación China



Al efectuar el correlograma de los escurrimientos mensuales de la estación China, resultó muy interesante observar que el volumen escurrido durante los meses de estiaje presenta una dependencia lineal, con respecto a los meses anteriores, mientras que los meses de lluvia no presentan dicha dependencia y cumplen de mejor manera la prueba de independencia.

La dependencia mensual, demeritó la aplicabilidad de los modelos PAR.

APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE NORMALIZACIÓN, ESTANDARIZACIÓN Y PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE A LAS SERIES DE DATOS ANALIZADAS

Durante los procesos de normalización de los valores de las series de tiempo, se observó que los órdenes de magnitud de las variables en proceso, resultaban de gran importancia al aplicar funciones logarítmicas y exponenciales, tales como las implicadas en el método de Box – Cox.

De tal forma, en varias ocasiones fue necesario modificar las unidades de dichas magnitudes, para lograr la generación de resultados que reprodujeran en mejor medida las características estadísticas de las muestras.

COMENTARIOS A LA MODELACIÓN MEDIANTE PAR(1) DE COEFICIENTES VARIABLES

El modelo se aplicó en una muestra que desde un principio no cumplía íntegramente con la prueba de independencia mas que para los meses de junio, agosto y septiembre, lo cual restringe la aplicabilidad de los modelos a esta muestra. Sin embargo, se intentó el cálculo de muestras sintéticas para observar el comportamiento del problema.

Se comprobó en forma definitiva que el modelo PAR(1) de coeficientes variables, no es aplicable a los datos hidrométricos de la estación *China*.

Una conclusión importante es que para zonas áridas en las cuales el escurrimiento de los meses de estiaje guarda una alta correlación con el escurrimiento de los meses precedentes, los modelos PAR (p) presentan dificultades de ajuste por la dependencia de los valores de la serie de tiempo.

Se observa que tal como los criterios de bondad de ajuste lo predicen, el modelo más aplicables es el AR(1), el cual reproduce en mejor medida las características de la muestra. Puede también apreciarse que los modelos ARMA(p, q), se ajustan mejor al ser de menor cantidad de parámetros, de manera que el que mejor se ajusta es el ARMA(1,1).

Todo indica, que en la medida en que la información es menos detallada, los métodos de mayor aplicabilidad, también son los menos detallados.

ANEXO B. MODELO MATEMATICO DE SIMULACION HIDROLOGICA

INDICE TEMATICO

Anexo B.	Modelo matemático de simulación hidrológica	132
B.1	Hoja de cálculo cronos	135
B.2	Hoja de cálculo opciones.	139
B.3	Comentarios al modelo matemático de simulación hidrológica	140
B.4	Código de simulación.	141
B.5	Identificación del Modelo	150
B.6	Aplicación del modelo al período 1942 – 1998.	151
B.7	Resultados del análisis de condiciones futuras.	157
B.8	Resultados de los modelos simplificados de Análisis	160

INDICE DE FIGURAS

Figura B. 1.	Esquema de balance hidrológico y la relación entre sus elementos y acciones	132
Figura B. 2.	Información necesaria y resultados del modelo	133
Figura B. 3.	Deficiencias calculadas para período 1948 – 1998, mediante el Modelo	151
Figura B. 4.	Comparación de almacenamientos calculados con los registrados	152
Figura B. 5.	Deficiencias calculadas en el suministro de agua potable a la ZMM, al suponer la ausencia de las presas Cerro Prieto y el Cuchillo, 1943 – 1998	152
Figura B. 6.	Derrames calculados para la presa M. R. Gómez, para el período 1940 - 1998	153
Figura B. 7.	Almacenamiento acumulado en principales presas de la CRSJ, calculado para un escenario de tendencia actual, período 1998 - 2068	154
Figura B. 8.	Probabilidades de ocurrencia y excedencia en almacenamiento de agua superficial para un escenario de tendencia actual	154
Figura B. 9.	Escurrimiento, almacenamiento, evaporación y extracción de embalses, 1940 - 1998	155
Figura B. 10.	Promedios acumulados de escurrimiento, extracción y evaporación, 1940 - 1998	156
Figura B. 11.	Porcentaje de extracción, escurrimiento y evaporación en los embalses 1940 - 1998	156
Figura B. 12.	Extracción y evaporación anual de agua superficial y tendencia hasta 1998	157
Figura B. 13.	Extracción en las presas Marte R. Gómez y el Cuchillo hasta 1998	157
Figura B. 14.	Efectos acumulados al intensificar extracciones en Presa El Cuchillo, 1998 – 2066	158
Figura B. 15.	Fuentes de abastecimiento para la ZMM, escenario crítico	160
Figura B. 16.	Demanda de nuevas fuentes de abastecimiento para el escenario esperado, si los acuíferos no fueran productivos y si la eficiencia en el uso público no mejorara	160

INDICE DE CUADROS

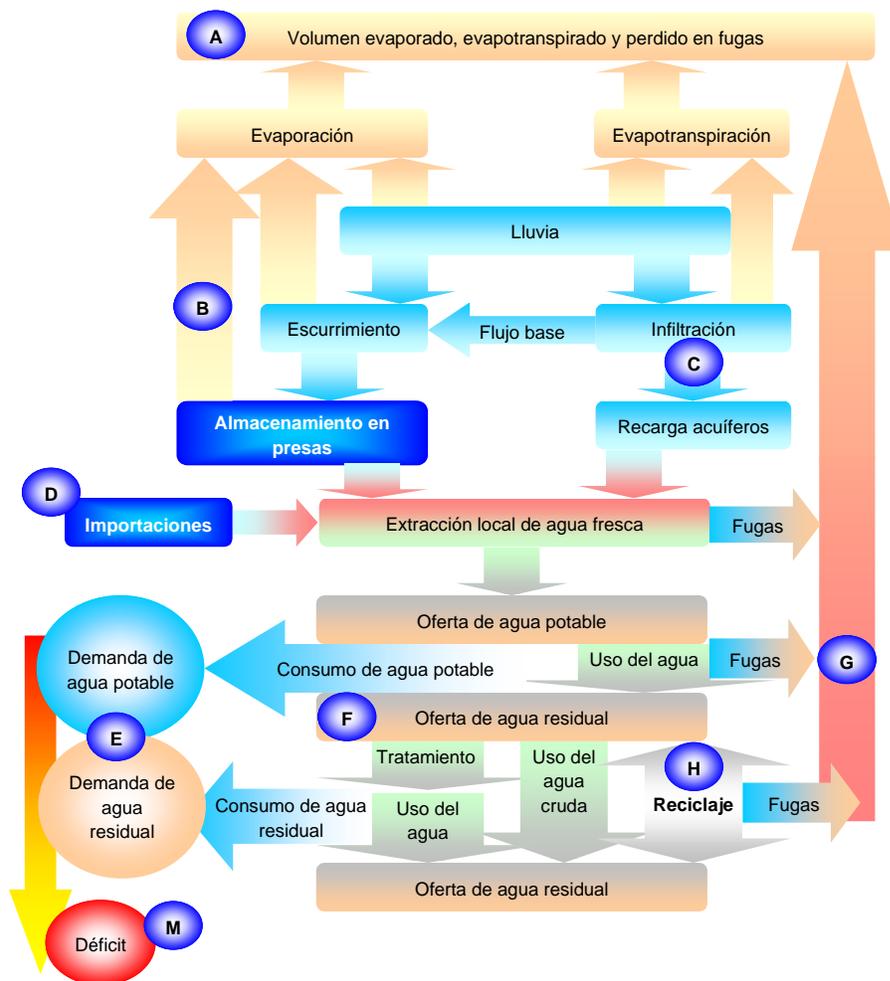
<i>Cuadro B. 1. Descripción general de las hojas de cálculo del archivo magnético del modelo</i>	<i>134</i>
<i>Cuadro B. 2. Parámetros de duración del intervalo de modelación</i>	<i>135</i>
<i>Cuadro B. 3. Algunos parámetros relativos a la demanda en cada subcuenca.</i>	<i>135</i>
<i>Cuadro B. 4. Capacidades de extracción respectivas a las fuentes asignadas a cada demanda.</i>	<i>136</i>
<i>Cuadro B. 5. Descripción de los parámetros de las obras de tratamiento.</i>	<i>136</i>
<i>Cuadro B. 6. Parámetros de las características del reuso en los centros de demanda.</i>	<i>136</i>
<i>Cuadro B. 7. Descripción de dimensiones y vigencia de los embalses</i>	<i>137</i>
<i>Cuadro B. 8. Curvas E- C- A y evaporación potencial de cada embalse</i>	<i>138</i>
<i>Cuadro B. 9. Descripción de parámetros correspondientes a políticas de operación en embalses.</i>	<i>138</i>
<i>Cuadro B. 10. Representación parcial de la hoja de cálculo opciones.</i>	<i>139</i>
<i>Cuadro B. 11. Variables del código de simulación.</i>	<i>141</i>

Anexo B. MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

Para comprender la relación entre diversos elementos que inciden en la hidrología de la zona de estudio, se diseñó el modelo matemático de simulación hidrológica.

El modelo relaciona los registros hidrológicos, con las condiciones de aprovechamiento y uso de las fuentes de abastecimiento. Una representación gráfica de la relación de estos elementos, se presenta en la siguiente figura.

Figura B. 1. Esquema de balance hidrológico y la relación entre sus elementos y acciones



A	Manejo de cuencas
B	Optimización de vasos
C	Recarga artificial y presas subterráneas
D	Acciones en cuencas donadoras para mitigar impacto de la transferencia. Incremento en eficiencia en el uso del agua Compra de derechos del agua
E	Uso eficiente del agua
F	Reglamentación usos - calidad
G	Control de fugas
H	Intensificación de reciclaje en la industria

Se empleó el lenguaje de programación *Visual Basic* para *Excel*, de *Microsoft*. De este modo, los registros históricos se ordenaron en distintas *hojas de trabajo*, vinculadas entre sí, por medio de expresiones matemáticas programadas en celdas y con el algoritmo del programa.

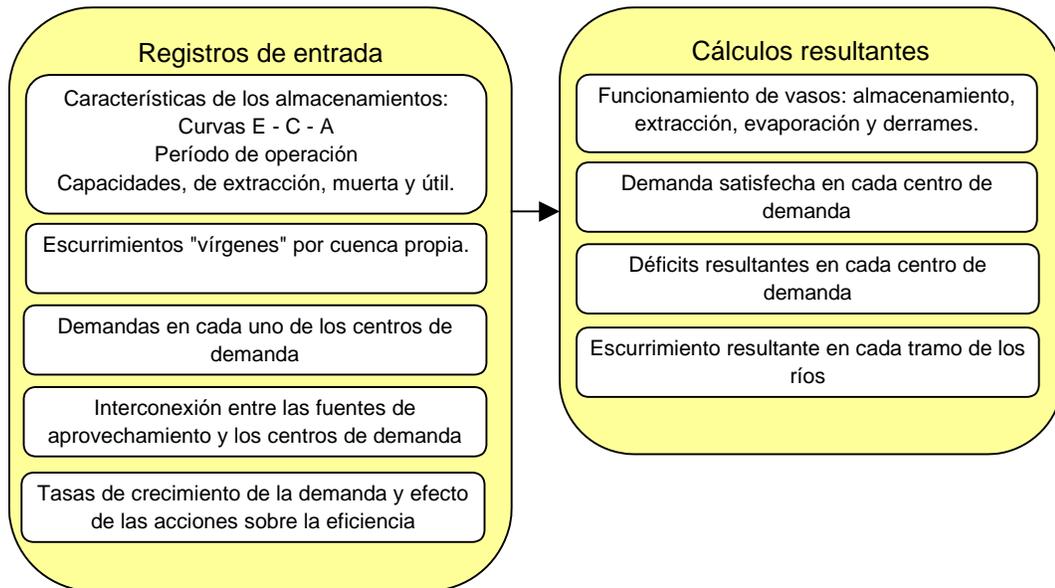
Las principales hipótesis para el diseño del modelo, se presentan en el capítulo II, de Metodología; sin embargo, debido a la variedad de cálculos necesarios para la simulación, hubo muchas otras suposiciones que se reflejan exclusivamente en el algoritmo del programa.

Las peculiaridades de cada sistema regional y sus variantes, constituyen la parte más minuciosa y compleja de la aplicación de cualquier modelo, por que no se diseñó un modelo de aplicación "universal"; sino principalmente ajustable a las características de la zona de estudio.

Para la simulación hidrológica se parte de un análisis general, que considera cuerpos de agua superficial y subterránea, con condiciones de escurrimiento y recarga preestablecidas.

En el siguiente diagrama se muestran los registros de entrada y los cálculos resultantes del modelo.

Figura B. 2. Información necesaria y resultados del modelo



A continuación, mediante cuadros y figuras y textos, se describe el funcionamiento del modelo, posteriormente se presentan sus algoritmos y finalmente algunos de los resultados obtenidos.

El archivo magnético del modelo, se compone de un conjunto de hojas de trabajo, que se describen en forma resumida en el siguiente cuadro:

Cuadro B. 1. Descripción general de las *hojas de cálculo* del archivo magnético del modelo

Tipo	Nombre	Contenido
Descripción del aprovechamiento	Cronos	Contiene aquellos parámetros necesarios para describir la infraestructura y la evolución de la demanda de agua.
	Opciones	Presenta el catálogo de acciones propuestas para el desarrollo hidráulico de la zona de estudio y mediante su relación con la hoja cronos, determinan parámetros para la modelación de escenarios.
Registros mensuales	Virgen	Presenta los escurrimientos <i>virgenes</i> calculados para cada cuenca propia, y los valores acumulados para cada una de las cuencas tributarias de los nodos del sistema hidrológico (figura II. 7, del capítulo de Metodología).
	Acum2	Similar a la hoja Virgen, cuenta con expresiones matemáticas en varias de sus celdas, que permiten acumular los efectos calculados mediante la simulación matemática, de modo que los escurrimientos virgenes de esta hoja, terminan por ser escurrimientos modificados.
	FVASO	Por medio de el código de simulación, esta hoja de cálculo interactúa con todas las demás, para generar los registros correspondientes al funcionamiento de los almacenamientos superficiales y subterráneos de la zona de estudio. Entre sus resultados, destacan los valores de: capacidades útiles, almacenamiento total, evaporaciones, extracciones y derrames.
	DEM 2	Presenta para cada grupo de usuarios, las proyecciones de demanda calculadas para el período histórico y los pronósticos futuros. Se vincula con las hojas <i>Cronos</i> y <i>Catálogo</i> , de modo que cuenta con variables paramétricas que describen las características de la demanda y del reuso del agua. Esta hoja interactúa con el programa de simulación, y con la hoja <i>FVASO</i> , para calcular los déficits en cada centro de demanda, así como las características del reuso y del reciclaje, según sus características descritas en la hoja <i>Cronos</i>
Gráficos	ALM MRG	Comparación de los almacenamientos promedio anuales, registrado y calculado para la presa Marte R. Gómez.
	ALM Cuch	Almacenamiento promedio anual calculado en la presa El Cuchillo.
	Def DR026	Descripción del porcentaje anual de deficiencia calculada para el riego del DR 026, Bajo Río San Juan
	Def % ZMM	Deficiencia porcentual calculada para la Zona Metropolitana de Monterrey

B.1 HOJA DE CÁLCULO *CRONOS*

La hoja de cálculo *cronos*, cuenta con una descripción detallada de diversos parámetros correspondientes a: los centros de demanda, las fuentes de abastecimiento y la infraestructura de aprovechamiento. Además, se indican varios parámetros fundamentales para la simulación matemática como son: período de simulación y las condiciones iniciales de almacenamiento.

Cuadro B. 2. Parámetros de duración del intervalo de modelación

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	En este caso se analizan las deficiencias por resolver hasta 1998 sin el Cuchillo			0	Futuro (1) Pasado (0)					
2	Período con información:	Inicio:		1940		Período de simulación:	Inicial	1943	1	
3		Fin:		2008			Final	1998	12	

Se consideró que los ríos presentan una red de drenaje, que tiende a confluir a afluentes principales: San Juan, Alamo, Pablillo, Bravo, Soto La Marina, Salado y Pánuco.

Las cuencas externas no se subdividieron, pero la cuenca del río San Juan, se dividió en más de seis subcuencas, cada una, correspondiente a un nodo de la red de drenaje.

Las demandas de la zona de estudio se analizaron y se distribuyeron previamente en cada una de las cuencas tributarias y en la hoja *cronos* se describieron las características de la demanda en cada una de estas unidades geográficas (Cuadro siguiente).

Cuadro B. 3. Algunos parámetros relativos a la demanda en cada subcuenca.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
36	DEMANDAS				ORDEN DE NODOS DE ABASTECIMIENTO									
37	Cve	Tipo	Loc (Nodo)	Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	5	P	5	Zona Metropolitana de Monterrey	19	20	4	18	17	8	15	9	1	1
39	13	A	13	Bajo San Juan	13	7								
40	12	A	12	Usuarios agrícolas Ayancual - Pesquería - Salinas	12									
41	10	A	10	Las Lajas	10									
42	6	A	6	Alto San Juan	6									
43	7	A	7	Las Blancas	7									
44	8	A	8	Zona Agríc. de Cerro Prieto	8									
45	14	A	14	Distrito de Riego 025 Bajo Bravo	14									
46	1	A	1	DR 092 Las Animas, Tamps. Pánuco	1									
47	2	A	2	DR 086 Soto La Marina + Cd Victoria	2									
48	15	P	15	Poblados dependientes de acuíferos foráneos	15									
49														
63														
64			Tot	11										

Para describir los principales centros de demanda, se proponen tres parámetros: un número secuencial o clave, su tipo y su ubicación. El primer número es propio del centro de demanda, el segundo, describe el fin para el cual se destina (agrícola o potable) y el último, corresponde al nodo tributario dentro de la red hidrográfica. Cada subcuenca corresponde a un nodo hidrográfico, pero puede haber más de un centro de demanda por nodo.

Al igual que los centros de demanda, las fuentes de abastecimiento se clasificaron con una clave. En el cuadro anterior se muestra la asignación jerarquizada de las fuentes, a cada centro de demanda.

El orden en el cual se listan los centros de demanda, corresponde a la jerarquía que se les confiere a priori, para la asignación del agua disponible en las fuentes.

A la derecha de la tabla de asignación de fuentes, se describe la capacidad de extracción instalada en cada fuente, representada en m³ / s.

Cuadro B. 4. Capacidades de extracción respectivas a las fuentes asignadas a cada demanda.

	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	Capacidad de extracción instalada (m ³ /s)									
36										
37	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
38	0.19	0.2	1.6	0.99	1.61	5	0	5	20	20
39	72	1								
40	35									
41	1									
42	35									
43	1									
44	5.5									
45	5									
46	15									
47	5									
48	1									
49										
63										

Además de la infraestructura de aprovechamiento de las fuentes, también se consideran obras de tratamiento, descritas en la hoja *cronos*, de acuerdo con su capacidad de diseño, su ritmo mensual de tratamiento y su localización.

Cuadro B. 5. Descripción de los parámetros de las obras de tratamiento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
67	OBRAS DE TRATAMIENTO Y TRANSFERENCIA - B Y E -							CAPACIDAD MENSUAL DE OPERACIÓN (%)												
68	Cve	Origen	Destino	Tipo	Cap (m ³ /s)	Inicio	Final	Ene	Feb	Mar	Abr	Mav	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
69	1	5	5	P	1	1990	2020	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	60%	50%	60%	80%	90%	
70	2	5	13	S	3	1941	2000	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	60%	50%	60%	80%	90%	
71	3	9	12	T	1.5	1985	1998	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	60%	50%	60%	80%	90%	
72	4	1	1	P	0.2	2010	2040	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	60%	50%	60%	80%	90%	
73	5	4	5	S	2	2000	2050	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%	60%	50%	60%	80%	90%	
74																				
85																				
86			Total	5																
87																				
88						30% Reducción de la demanda de agricultores														
89						10% Efecto del control de fugas agrícolas														

Existen cuatro tipos de uso del agua residual, éstos dependen del tratamiento que se les dá y del destino que se les confiere:

1. Uso local del agua residual cruda.
2. Uso local del agua residual tratada.
3. Descarga hacia una corriente lejana (transferencia artificial).
4. Descarga de agua tratada hacia una corriente lejana (transferencia artificial).

Al igual que los centros de demanda, la hoja *cronos*, presenta una descripción de ciertas características de las fuentes de abastecimiento, tal como se observa en los siguientes cuadros.

Cuadro B. 6. Parámetros de las características del reuso en los centros de demanda.

	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	
34				Destino del retorno (tipo de proyecto)											
35		A		B		C		E		D					
36		Descarga residual hacia un nodo artificial (Ej. Pesquería)		Exportación con posible tratamiento		Reuso local de agua cruda		Reuso con tratamiento en el mismo nodo		Esc. Aguas abajo		PORCENTAJES AUXILIARES			
37	Coefficiente de retorno	% del retorno	Destino	% del retorno	Proyecto	% del retorno	% del retorno	Proyecto	% del retorno	Tasa de proyección de la demanda futura	Tasa de proyección de la demanda histórica	Ahorro propuesto por concienciación y modernización	Ahorro propuesto por rehabilitación		
38	60%	80%	11			10%	10.0%	5	0%	2%	4.0%	20.0%	5.0%		
39	30%	0%							100%	0%	0.2%	40.0%	30.0%		
40	30%	0%							100%	1%	2.0%	40.0%	50.0%		
41	30%	0%							100%	0%	0.2%	40.0%	30.0%		
42	30%	0%							100%	1%	1.0%	40.0%	20.0%		
43	30%	0%							100%	1%	0.5%	20.0%	20.0%		
44	30%	0%							100%	0%	1.0%	20.0%	30.0%		
45	30%	0%							100%	0%	0.5%	40.0%	30.0%		
46	30%	0%							100%	1%	0.5%	0.0%	20.0%		
47	30%	0%							100%	1%	0.5%	40.0%	20.0%		
48	60%	0%							100%	1%	0.5%	20.0%	20.0%		
49	0%								100%						
63	0%	0%							100%						

Tal como se menciona previamente, además de la descripción de los usos del agua, también se integró un cuadro con registros correspondientes a las fuentes de abastecimiento, con los parámetros que se presentan en los siguientes cuadros, originarios de un ejemplo de aplicación al período 1943 – 1998, entre ellos: período de operación, capacidades, etc.

Cuadro B. 7. Descripción de dimensiones y vigencia de los embalses

	A	B	C	D		E	F	G	H	I	J	K
2		Período con información:		Inicio:		1940		Período de simulación:		Inicial	1943	1
3				Fin:		2008				Final	1998	12
4												
5	CARACTERÍSTICAS DE LOS APROVECHAMIENTOS						CAPACIDAD					
6	Cve	Tipo	Loc (Nodo)	Nombre		Inicio	Fin	Total (Mm³)	Muerta (Mm³)	Útil (Mm³)	Control (m³/s)	Desfogue (m³/s)
7	18	A	18	Santa Catarina		1912	1998	5000	2000	3000	0	0
8	19	A	19	Pozos Someros		1985	1998	5000	2000	3000	0	0
9	17	A	17	Santiago		1961	1998	5000	2000	3000	0	0
10	20	A	20	Pozos profundos		1990	1998	5000	2000	3000	0	0
11	21	P	9	ARSJ Excepto ZMM		1970	1998	40	1.5	30	122	45
12	8	P	8	Cerro Prieto		1984	1998	361.8	25	330	122	45
13	4	P	4	La Boca		1961	1998	40	1.5	30	3	45
14	9	P	9	El Cuchillo		1994	1998	1884	202.3	1123	150	45
15	13	P	13	Marte R. Gómez		1952	1998	1554	300	930	122	45
33			Tot	9								

Para simular el funcionamiento de los vasos de almacenamiento, se indicaron parámetros de polinomios de tercer orden para representar en forma aproximada el comportamiento de las curvas elevaciones – capacidades – áreas (E – C - A), tal como se muestra en el siguiente cuadro. La evaporación se consideró una lámina mensual que no varía con los años, por lo cual también se indica en la hoja *cronos*, como un valor constante mensual.

Cuadro B. 8. Curvas E- C- A y evaporación potencial de cada embalse

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
2							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3						Pub	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
4						Agr	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
5	Función áreas (1,000 x Ha) vs capacidades (Mm³).			Presas: Esc. vs Vol/100 Mm³/mes			Evaporación potencial en presas (mm)											
6	x²	x	cte	x²	x	cte	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	-108.25	17024	10104	1.2159	-0.4529	0.089	94	99	144	162	182	172	204	198	157	128	101	96
12	-10.935	12274	187921	1.2159	-0.4529	0.089	94	98	144	161	184	181	205	201	160	129	101	95
13	-108.25	17024	10104	1.2159	-0.4529	0.089	94	99	144	162	182	172	204	198	157	128	101	96
14	-1.8844	13537	491255	0	0	0	94	98	144	161	184	181	205	201	160	129	101	95
15	-2.4293	17644	1000000	1.2159	-0.4529	0.089	85	86	158	160	154	197	198	219	149	100	58	72
16	-108.25	17024	10104	1.2159	-0.4529	0.089	94	99	144	162	182	172	204	198	157	128	101	96
17	-2.4293	17644	1000000	1.2159	-0.4529	0.089	85	86	158	160	154	197	198	219	149	100	58	72
18	-2.4293	17644	1000000	1.2159	-0.4529	0.089	85	86	158	160	154	197	198	219	149	100	58	72
19	-2.4293	17644	1000000	1.2159	-0.4529	0.089	85	86	158	160	154	197	198	219	149	100	58	72
20	-10.935	12274	187921	1.2159	-0.4529	0.089	94	98	144	161	184	181	205	201	160	129	101	95
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	-108.25	17024	10104	1.2159	-0.4529	0.089	94	99	144	162	182	172	204	198	157	128	101	96
32																		

Los acuíferos fueron tratados como almacenamientos, con la diferencia de que presentan una evaporación nula y capacidades de almacenamiento prácticamente ilimitadas (lo cual sería un riesgo sólo si hay sobreexplotación).

Cuadro B. 9. Descripción de parámetros correspondientes a políticas de operación en embalses.

	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU		
5	Almacenamiento al 1° de octubre (x). Cálculo de política de operación				Política anual de extracción en almacenamientos. Constantes para cada rango Ax + B															
6	Límites de los rangos de almacenamiento				I		II		III		IV		V		Política Ab. A rango máximo		Aux.	Alm. inicial		
7	100000				0	49.8	0	49.8	0	49.8	0	49.8	0	49.8	0	49.8	0	1	3500	
8	100000				0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	1	3500	
9	100000				0	46	0	46	0	46	0	46	0	46	0	46	0	1	3500	
10	100000				0	6.3	0	6.3	0	6.3	0	6.3	0	6.3	0	6.3	0	1	3500	
11	1	19	29.6	41.5	0	131	0	131	0	131	0	131	0	131	0	131	0	1	1.5	
12	25	92.58	251.86	270.43	0	0	1.114	-18.142	0	85	3.931	-904.999	0	158	0	0	1	50		
13	1	19	29.6	41.5	0	0	1.5	2.499	0	31	0.937	3.327	0.937	3.33	0	0	1	1.5		
14	50	139	280	516	0	0	0	0	1.119	-155.3	0	158	0	158	1	-516	1	202.3		
15	150	200	300	574.68	0.926	131	0.7068	163.819	0.7068	163.819	0.7068	163.819	0	570	0	0	1	120		
16	1	19	29.6	41.5	0	347	0	347	0	347	0	347	0	347	0	0	1	1.5		
17	150	200	300	574.68	0.926	131	0.7068	163.819	0	570	0	570	0	570	0	0	1	120		
18	150	200	300	574.68	0.926	131	0.7068	163.819	0	570	0	570	0	570	0	0	1	120		
19	150	200	300	574.68	0.926	131	0.7068	163.819	0	570	0	570	0	570	0	0	1	120		
20	25	92.58	251.86	270.43	0	0	1.114	-18.142	0	85	3.931	-904.999	0	158	0	0	1	50		
21	100000				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3500		
22	1	19	29.6	41.5	0	347	0	347	0	347	0	347	0	347	0	0	1	1.5		
32																		0		

Con el propósito de que la simulación presentara un comportamiento real en la operación de las presas, se consideraron las políticas de operación establecidas para el sistema de fuentes de abastecimiento de la ZMM, establecido previamente por la CNA en 1993, a partir del inicio de operación de la presa El Cuchillo. Dichas políticas de operación se especifican en el modelo, mediante relaciones entre la capacidad y la extracción propuesta para los embalses, tal como se establecen las políticas (funciones de hasta un orden, de la capacidad útil en los embalses).

Obsérvese que en la última columna se asigna el almacenamiento inicial para considerar como condiciones iniciales en la simulación. Dicho valor únicamente rige para el primer período de análisis durante la modelación matemática.

Entre los datos iniciales de importancia se encuentran: los almacenamientos en las presas al principio de la simulación (mes inicial) y las características del uso del agua residual.

B.2 HOJA DE CÁLCULO OPCIONES.

Cuadro B. 10. Representación parcial de la hoja de cálculo *opciones*.

		Escenarios			Selección					
		Pasado	Futuro							
		1	2	9						
		Análisis histórico	Político	Presup. Libre						
Acciones	Incremento de la oferta	Manejo de cuencas			1	1	0			
		Tratamiento y reuso de agua residual	Tratamiento y reciclaje de la totalidad del agua residual de la ZMM					0		
			Tratamiento y reciclaje del 50% del agua residual de la ZMM			1		0		
		Aprovechamiento de agua subterránea excedente de la CRSJ	5.1.1.1	La Unión - General Terán / Acueducto Linares - Monterrey (ALM)			1	1	0	
				Manantial Tragadero / ALM			1	1	0	
				Manantial Las Adjuntas / ALM			1	1	0	
				San Francisco II - Sistema Santiago			1	1	0	
				Pajonal - Sistema Buenos Aires			1	1	0	
				Acuífero Mamulque			1	1	0	
				Acuífero Cerritos			1	1	0	
		Importación de agua desde cuencas externas	Agua subterránea	Casillas - San Rafael - ALM (Cca del Salado)			1	1	0	
				Potrero Prieto - Galeana - ALM (Cca Sn Fdo)			1	1	0	
				Subálveo confluencia Potosí - Pabillón - ALM (Cca Sn Fdo)			1	1	0	
				Acuífero Buslamante (Río Bravo)			1	1	0	
				Acuífero Sabinas Hidalgo (Río Bravo)			1	1	0	
	Agua superficial		Acuífero Pabillón - Sitio Las Cuevas - Cerro Prieto (Sn Fdo)			1	1	0		
			Acuífero Zaragoza - Arramberri - Cerro Prieto (Soto La Marina)			1	1	0		
			Manantial La Patria es Primero (El Porvenir) - Cerro Prieto (SLM)							
			5.1.1.2.2. Transferencia desde presa Falcón (con transferencia de DR025)					0		
			5.1.1.2.3. Área de captación de la presa Falcón DR004					0		
	Reducción de la demanda	Incremento de eficiencia en la infraestructura de distribución	Ahorro de agua para fines agrícolas	Consolidación de las zonas agrícolas - depuración de usuarios sin derecho, especialmente en Ayuncual Pesquería -			1		0	
				Mant., Rehab. de Infraest. hidroagrícola			1	1	0	
				Tecnificación			1	1	0	
				Modernización			1	1	0	
				Cultivos de menor lámina			1	1	0	
				Capacitación y concienciación de agricultores			1	1	0	
				5.1.2.1.2 Incremento en la eficiencia de distribución y uso de agua potable - concienciación, automatización, sectorización y control de fugas -					0	
		Compra de derechos	urbano	5.1.2.1.1	Reducción de consumos			1	1	0
					DR026			1		0
					DR025			1		0
		DR Abasolo			1		0			
Normatividad usos - calidad			1	1	0					
Regularización de aprovechamientos			1	1	0					
Fortalecimiento en capacidad de vigilancia y monitoreo			1	1	0					
Uso eficiente del agua y cambio de patrones de consumo			1	1	0					
		Operación de pozos de agua potable	1	1	1	1				
		Galerías filtrantes	1	1	1	1				
		Sistema Linares - Monterrey	1	1	1	1				
		Sistema Cuchillo - Monterrey	1	1	1	1				
		Operación y mantenimiento de la red de distribución de agua potable	1	1	1	1				
		Operación y mantenimiento de la infraestructura hidroagrícola existente	1	1	1	1				
		Transferencia desde el río Alamo hacia MRG		1	1	0				
		Tratamiento de las aguas residuales y conducción a MRG		1	1	0				
		Ducto de agua residual ZMM - DR026		1		0				

En la hoja de cálculo *opciones*, uno puede modificar parámetros que inciden en el uso del agua a futuro, entre los cuales se encuentran: i) el incremento de la eficiencia, ii) la transferencia de derechos, iii) el reciclaje y la importación desde distintas fuentes.

De hecho, la hoja *opciones* se encuentra ligada con las hojas de cálculo *cronos* y *dem 2*, de modo que incide en las mismas, para preparar la ejecución del modelo matemático.

B.3 COMENTARIOS AL MODELO MATEMÁTICO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

La lógica establecida en el código, se apega básicamente a los siguientes principios:

1. El modelo se compone de un algoritmo de análisis mensual del sistema hidrológico.
2. En cada período, antes de analizar la disponibilidad de agua en las fuentes, se calcula la demanda en cada nodo de demanda y se identifican sus alternativas de abastecimiento.
3. Los centros de demanda se jerarquizan a priori, es decir, antes de aplicar el modelo, se indica cuáles son los centros de demanda que disponen prioritariamente del agua de las fuentes.
4. Las alternativas de abastecimiento de cada nodo, se jerarquizan antes de aplicar el modelo. De este modo, se describe cuales son las fuentes de abastecimiento de cada nodo y el orden en que habrán de aprovecharse.
5. Al correr el modelo, en cada iteración se realiza un análisis que presenta la siguiente secuencia: i) análisis de condiciones hidrológicas iniciales (disponibilidad en las fuentes); ii) análisis de la demanda en el centro prioritario de demanda; iii) asignación de volúmenes de agua al centro de demanda; iv) cálculo de los déficits; v) cálculo de los volúmenes de agua residual generados; asignación de agua residual a cuerpos de agua y a centros de demanda; vi) análisis de los centros de demanda restantes, según la jerarquía propuesta, tal como se describe en los pasos ii y iii; vii) simulación hidrológica tal como se describe en la hipótesis siguiente (6).
6. Para analizar en cada período o mes, la disponibilidad en las fuentes, se efectúa un análisis hidrológico en cascada. Primero se efectúa un balance en las fuentes independientes, normalmente ubicadas en las partes altas de la cuenca; con base en dichos resultados, se procede a estudiar su influencia en las fuentes ubicadas en dirección *aguas abajo*.
7. Los pasos anteriores permiten determinar las condiciones finales del período analizado, lo que permite realizar un nuevo análisis, de un nuevo período.

B.4 CÓDIGO DE SIMULACIÓN.

Las hojas de cálculo del modelo, interactúan con las rutinas propuestas en un código escrito en lenguaje *Visualbasic para Excel*. A continuación se describe un conjunto de variables con su significado, el listado del modelo y su algoritmo.

Cuadro B. 11. Variables del código de simulación.

PROPUESTA DE EXTRACCIONES		PORCE	Porcentaje de reuso que representan proyectos E, con respecto al reuso total
Jj	Años de simulación	DEF	Demanda efectiva al considerar el reuso en el nodo
j	Años relativos al año inicial de simulación	EXTE	Extracción con reuso E
k	meses	I2	Contador de búsqueda en DEM2
u	Revisión de demandas	M2	Aprovechamientos disponibles para abastecimiento - varía con cada demandante - Contador para análisis y propuesta de extracciones para cada centro de demanda
DA	Centro de demanda	V	Clave de obra de abastecimiento = I
I	Contador	FTE	Capacidad de la obra de toma (m ³ /s)
TD	Tipo de demanda	COT	Contador de búsqueda en CRONOS
ND	Nombre de la demanda	I3	Período -en años- de operación de infraestructura (años inicial y final)
POR	Porcentaje de retornos del uso en el nodo	All, AFS	Nodo por analizar
LU	Revisión de matrices DEM2 y ACUM2; quizás FVASO	NE	Tipo de aprovechamiento
P1	Renglón del dato		
P2	Columna del dato	SIMULACIÓN HIDROLÓGICA	
P3	Renglón de datos de centro de demanda	I	Contador
DE	Demanda de agua	All, AFS	Año inicial y final de operación de las obras hidráulicas
		NE	Nodo de localización
TRC	Porcentaje del retorno total utilizado en el nodo	NA	Número de años en funcionamiento.
NA	Número de años que funciona el aprovechamiento	CVE	Clave del Aprovechamiento
CVE	Clave del aprovechamiento	CM	Capacidad máxima del aprovechamiento
CM	Capacidad máxima	COTR	Capacidad de la obra de desfoque (m ³ /s)
CN	Capacidad muerta	E	Variable para transportar datos de ACUM2 a FVASO
CU	Capacidad útil	ALM1, ALM2	Almacenamiento al principio y al final del período
XE1, XE2, XC	Coefficientes de escurrimiento de un nodo a otro	Derr	Derrame
X1, X2, XC	Constantes del polinomio de la curva	Area	Area calculada con almacenamiento
EVM	Capacidades - Areas de cada vaso	Evap	Evaporación
	Evaporación potencial	Almac	Almacenamiento final
Cmp	Capacidad máxima recomendada por política	AA	Valor de entrada a función de escurrimiento
AIM	Almacenamiento inicial.	CES	Coefficiente de escurrimiento calculado a derrames y desfoques
Almac	Constante de almacenamiento	AAE	Escurrimiento efectivo aguas abajo
CUD	Capacidad útil disponible	RA	Retorno tipo A
Q	Volumen mensual de capacidad de extracción en obra de toma		
Ext	Extracción	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA Y DE LA INFORMACION	
REN	Renglón	D	Número de renglones inmediatos superiores a los primeros datos en CRONOS
COL	Columna	CIC	Número de renglones por aprovechamiento en hoja FVASO
EAC	Extracción acumulada	NAC	Número total de renglones en ACUM2
DemR	Demanda remanente	NRD	Número de renglones en DEM2
CORR	Coefficiente de corrección de retornos	AI, AFS	Años inicial y final de información
LUN	Contador	PIN	Número de años con información
NH	Nodo de origen de agua recibida por nodo de análisis	AM, FM	Meses inicial y final de la simulación
CMO	Ritmo mensual de operación	AM - AI =	Años con información previos a simulación
CMC	Costo de tratamiento	DAN	Número de renglones previos a datos en FVASO
CTRA	Costo de transferencia	NFV	Número de aprovechamientos
AIN	Año inicial de operación de las plantas de transferencia y/o tratamiento	N	Número de nodos demandantes por mes
AFI	Año final	M	Número de proyectos de reuso, tratamiento y transferencia
CMCS	Capacidad en m ³ /s	N9	
BNA	Variable auxiliar binaria		
LUC	Contador		

LISTADO DEL CODIGO SIMULA	140 Selection.ClearContents	390 N FV = 3 + DAN 'R previo a datos FVASO.	610 PUA = 2 + (PIN + 3) * (J - 1) '# de R de CR en DEM2
'	150 Columns("DE:DP").Select		620 If Cells(PUA, 1) = NODO Then
'Macro1 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA	160 Selection.ClearContents	'CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	630 Cells(PUA, 43) = CR
Sub SIMHIDRO()	170 Columns("DT:EE").Select	410 N = Cells(33, 4) '# APROVS.	640 Cells(PUA, 44) = CR1
	180 Selection.ClearContents	420 M = Cells(64, 4) '# de Nd Dem./mes'	650 Cells(PUA, 45) = CR2
'ACTUALIZACIÓN DE CP VIRGEN EN ACUM2 - RENOVIACIÓN -	190 Columns("EI:ET").Select	430 N9 = Cells(86, 4) '# de proyectos de reuso, tratamiento y transferencia'	660 Cells(PUA, 46) = CR3
10 Sheets("Virgen").Select	200 Selection.ClearContents	440 MsgBox "Año inicial =" & AI & " Año final =" & AFS	670 Cells(PUA, 47) = CR4
11 Columns("B:M").Select			680 Cells(PUA, 48) = CR5
12 Selection.Copy	'CARACTERISTICAS DE LOS ARCHIVOS DE REGISTROS		'MsgBox "Coeficiente de retorno de " & Nodo & " = " & CR
13 Sheets("Acum2").Select	220 'R = Renglón, Nd = Nodo, Exts = Extracciones	'ASIGNACIÓN DE COEFICIENTES DE RETORNO A LA MATRIZ DE DEMANDAS DEM2(CR)'	690 End If
14 Columns("B:M").Select	230 D = 6 'R INM SUP. APROVS. CRONOS	460 For I = 1 To M	700 Next J
15 ActiveSheet.Paste	240 CIC = 71 '# Rs/Aprov FVASO	470 Sheets("CRONOS").Select	710 Next I
Columns("BI:BT").Select	250 NAC = 2000 '#TOT Rs ACUM2	480 NODO = Cells(37 + I, 1)	'Hasta este punto el programa podría cortarse para analizarse la primera parte
Selection.ClearContents	260 NRD = 1000 '# Rs DEM2	490 CR = Cells(37 + I, 28)	
	270 Sheets("Cronos").Select ' Principal hoja de datos generales'	'Distribución de los retornos y coeficientes en diferentes centros de demanda % de CR, correspondiente a CR1	'INICIO DE SIMULACIÓN'
'INICIALIZACIÓN DE ARCHIVOS DE REGISTROS		510 CR1 = Cells(37 + I, 29)	730 For Jj = AM To FM 'Antes AI To AFS
20 Sheets("FVASO").Select	'PERIODO DE INFORMACIÓN	520 NR1 = Cells(37 + I, 30) 'Nodos de destino	740 MsgBox "Año " & Jj
30 Columns("BZ:CK").Select	290 AI = Cells(2, 5) 'AÑO INICIO (AI)	530 CR2 = Cells(37 + I, 31)	
40 Selection.ClearContents	300 AFS = Cells(3, 5) 'AÑO FINAL (AF)	540 NR2 = Cells(37 + I, 32)	'PARÁMETROS DE TIEMPO RELATIVO DURANTE LA SIMULACIÓN
50 Columns("C:N").Select	310 PIN = AFS - AI '# A INFO	550 CR3 = Cells(37 + I, 33)	760 J = Jj - AM + 1 'Contador a partir de 1: antes = Jj - AI + 1
60 Selection.ClearContents		560 CR4 = Cells(37 + I, 34)	'MsgBox "J =" & J
70 Columns("R:AE").Select	'PERIODO DE SIMULACIÓN	570 NR4 = Cells(37 + I, 35)	
80 Selection.ClearContents	330 AM = Cells(2, 10) 'AI	580 CR5 = Cells(37 + I, 36)	
90 Columns("AG:AR").Select	340 FM = Cells(3, 10) 'AF	590 Sheets("DEM2").Select	770 MsgBox "Año en la modelación" & J
100 Selection.ClearContents	350 AMES = Cells(2, 11) 'MES I	600 For J = 1 To M	780 For k = 1 To 12
110 Columns("AV:BH").Select	360 FMES = Cells(3, 11) 'MES F		
120 Selection.ClearContents	370 DAN = AM - AI 'AUX. CONTEO		
130 Columns("CP:DA").Select			

'Variables auxiliares de períodos inmediatos anteriores	880 TD = Cells(37 + u, 2) 'Tipo de demanda (I) Industrial, (U) Urbana, (A) Agrícola, (T) Transferencia	1180 PRE = Cells(37 + u, 35) 'Clave del proyecto de tratamiento E	'REVISION DEL PROCESO DE ASIGNACION DE DEMANDAS 1996-1'
781 If k = 1 Then	890 ND = Cells(37 + u, 3) 'Nombre de demanda	1190 If TRE > 0 Then 'Análisis de proyectos tipo E	If Jj = 1996 And k = 1 Then
782 KM1 = 12	900 CR = Cells(37 + u, 28) 'Porcentaje de retornos del uso en el nodo	1200 For uw = 1 To N9 'N9 = Cantidad de proyectos de tratamiento y transferencia	MsgBox "Demanda efectiva 1996 = " & DEF
783 Else	'MsgBox "Demanda analizada: " & u & " " & ND	1210 If Cells(68 + uw, 1) = PRE Then	End If
784 KM1 = k - 1	910 Sheets("DEM2").Select	1220 CAI = Cells(68 + uw, 6)	1375 DA2 = DE 'Variable auxiliar de procesos'
785 End If	920 For lu = 0 To M - 1	1230 CAF = Cells(68 + uw, 7)	1380 EXTE = PORCE * DE 'Reuso tipo E'
786 JM1 = J - 1	925 CT = lu * (PIN + 3) + 2	1240 CAPE1 = Cells(68 + uw, 7 + k) 'Capacidad porcentual mensual	1390 EXTC = TRC * CR * DE 'Reuso tipo C'
'MsgBox "k = " & k	930 If Cells(CT, 1) = DA Then	1250 CAPE2 = Cells(68 + uw, 5) 'Capacidad física, m³/s	1400 Sheets("Dem2").Select
790 If J = 1 And k < AMES Then	'Toma de dato de demanda para propuesta de extracciones	1260 End If	1410 For IZ = 0 To M - 1
800 k = AMES 'ASEGURA SIMULACIÓN A PARTIR DEL CORRECTO MES INICIAL	'MsgBox "Localicé " & DA & " en DEM2"	1270 Next uw	1411 CT = IZ * (PIN + 3) + 2
810 End If	950 P1 = CT + J + DAN	1280 CAPE = CAPE1 * CAPE2 * 86400 * DM / 1000000 'Capac. del proyecto en el período, Mm³'	1412 PJ = CT + DAN + J
'MsgBox "Mes " & K	960 P2 = 1 + k	1290 If CAPE > TRE * DE * CR Then 'Caso normal, reuso = % asignado a retorno tipo E'	1420 If Cells(CT, 1) = ND Then
830 Sheets("Cronos").Select	970 P3 = CT 'Usado posteriormente en el análisis de retornos	1300 PORCE = TRE * CR	1421 Cells(PJ, 90 + k) = EXTC
835 DM = Cells(D, 17 + k) 'días/mes'	980 DE = Cells(P1, P2) 'Demanda de agua '	1310 Else	1422 Cells(PJ, 119 + k) = EXTE
'Distribución porcentual anual de las demandas	990 D1 = DE	1330 PORCE = CAPE / DE 'Porcentaje de la demanda, correspondiente a la capacidad de reuso de proyectos tipo E'	1423 Cells(PJ, 133 + k) = DE
PRURB = Cells(3, 17 + k) 'distribución porcentual mensual del uso público urbano'	'MsgBox "Demanda =" & DE	1340 End If	1440 End If
PRAGR = Cells(4, 17 + k) 'distribución porcentual mensual del uso agrícola'	1120 End If	1345 Else	1450 Next IZ
'ANÁLISIS DE DEMANDAS Y DE PROYECTOS DE REUSO	1130 Next lu	1346 PORCE = 0	1460 If DE = 0 Then
850 For u = 1 To M 'M = # de nodos demandantes por mes	'EVALUACIÓN DEL EFECTO DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO Y TRANSFERENCIA EN LA OFERTA Y LA DEMANDA	1350 End If	'MsgBox "La demanda es cero, no hay extracción"
860 Sheets("Cronos").Select 'Prioridad Abast. f(CRONOS)'	1140 Sheets("Cronos").Select	1360 DEF = DE / (1 + PORCE + TRC * CR)	1480 Else
870 DA = Cells(37 + u, 1) 'Centro de demanda	1160 TRC = Cells(37 + u, 33) 'Ret.C: % de R total, reutilizado en el mismo nodo, sin tratamiento	1370 DE = DEF * Demanda efectiva, al considerar el reciclaje '	'Asignación de extracciones a las fuentes de abastecimiento
	1170 TRE = Cells(37 + u, 34) 'Ret.E: similar a TRC, pero CON tratamiento		'MsgBox "u =" & u
			1485 Sheets("Cronos").Select
			1490 M2 = Cells(37 + u, 15) '# APROVS DISPS PARA ABAST
			'MsgBox "M2, Número de aprovechamientos asignados a centro de demanda =" & M2

1510	For v = 1 To M2 'ANALISIS APROV/USO 'MsgBox "v, contador de fuentes por demanda =" & v	1680	NA = AF - All 'Número de años que funciona el Aprov.	PRR = PRAGR	1910	Almac = Cells(Ren - 1, 29)	
1530	Sheets("Cronos").Select	1690	CVE = Cells(D + I3, 1) 'Clave de el Aprov.	Else		If Jj = All Then	
1540	FTE = Cells(37 + u, 4 + v) 'Cve. Aprov.	1700	CM = Cells(D + I3, 7) ' Cap. Máx. Aprov.	PRR = PRURB		Cells(Ren - 1, 29) = AIM	
1550	COT = Cells(37 + u, 16 + v) 'Capacidad de obra de toma correspondiente al aprovechamiento considerado para atención de la demanda 'MsgBox "Fuente de abastecimiento =" & FTE & " Capacidad de obra de toma en m³/s=" & COT	1710	CN = Cells(D + I3, 8) ' Cap. muerta	End If		Almac = AIM	
1570	For I3 = 1 To N 'Búsqueda de fuente en la lista de aprovechamientos, para consulta de sus características = eso es lo que hace esta rutina	1720	CU = Cells(D + I3, 9) ' Cap. útil	'ANALISIS DE VARIABLES DE ESTADO EN FVASO	1920	Else	
1580	If Cells(D + I3, 1) = FTE Then 'MsgBox "Para la demanda " & DA & " tomo datos del Aprov. " & FTE 'Verificador 'TOMA DE DATOS DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	1820	AIM = Cells(D + I3, 47) 'Alm. inicial Sim.(final periodo anterior)	1860	Sheets("FVASO").Select	1930	Almac = Cells(Ren, 16 + k) 'Se considera un período de retraso de 1 mes
1610	I = FTE	1822	LA = Cells(D + I3, 30) 'Fronteras de los rangos de almacenamiento para cálculo de extracción, de acuerdo con política de operación	' CALC CAP UTIL, f(ALM PREVIO)		1940	End If
1612	Ren = NFV + ((I - 1) * CIC) + J	1824	LB = Cells(D + I3, 31)	' I = Cve. Fuente		1950	End If
1614	Col = 77 + k	1826	LC = Cells(D + I3, 32)	'Análisis del almacenamiento del período inmediato anterior, nó únicamente el período inicial		1960	If Almac < CN Then 'Antes a esto se le estaba restando una extracción actual, aun no calculada (dependiente de este mismo dato, empleado para calcular la capacidad útil)
1620	All = Cells(D + I3, 5) 'Inicio	1828	LD = Cells(D + I3, 33)	1870	If k = AMES And J = 1 Then 'Caso de primer período de simulación, sólo en este caso se considera almacenamiento inicial (dato)'	1970	Cells(Ren, 47 + k) = 0 'CAP DISP
1630	AF = Cells(D + I3, 6) 'Final 'MsgBox "I3 = " & I3 & " Sigo ? " 'Verificador	1830	CL1 = Cells(D + I3, 34)	1872	Almac = AIM	1980	Else
1640	If All < Jj + 1 And AF > Jj - 1 Then 'Se verifica que el aprovechamiento ya se encuentre en operación	1832	CL2 = Cells(D + I3, 35) ' Coeficientes de binomios de políticas de operación	'MsgBox "La fuente " & FTE & " tiene un almacenamiento inicial de " & AIM		1990	Cells(Ren, 47 + k) = Almac - CN
1660	NE = Cells(D + I3, 3) 'Nodo por analizar	1834	CL3 = Cells(D + I3, 36)	'MsgBox "Renglón: " & REN & " Columna: " & COL		2000	End If 'Con esto queda calculada la capacidad útil para cálculo preliminar de extracciones'
1670	TA = Cells(D + I3, 2) ' Tipo de aprovechamiento P, A o T.	1836	CL4 = Cells(D + I3, 37)	1881	If k = 1 Then 'Se registra almacenamiento inicial en FVASO'	2010	CUD = Cells(Ren, 47 + k) 'CAP UTIL PREVIA A EXT
		1838	CL5 = Cells(D + I3, 38)	1882	Cells(Ren - 1, 29) = AIM 'Almacenamiento final del período inmediato anterior		'ASIGNACION DE EXTRACCION ANUAL MEDIANTE POLITICA DE OPERACION EN APROVECHAMIENTO
		1840	CL6 = Cells(D + I3, 39)	1883	Else		If k = 10 Then
		1842	CL7 = Cells(D + I3, 40)	1884	Cells(Ren, 16 + k) = AIM 'Se considera un período de retraso de 1 mes		Patin = 1
		1844	CL8 = Cells(D + I3, 41)	1885	End If		AGT = Cells(Ren, 30) 'Se confirma si se calculo ya la política para el período
		1846	CL9 = Cells(D + I3, 42)	1890	Else 'Periodos consecutivos después del período inicial.		Else
		1848	CL10 = Cells(D + I3, 43)	1900	If k = 1 Then		If J = 1 Then
		1850	CL11 = Cells(D + I3, 44)				
		1852	CL12 = Cells(D + I3, 45)				
			'Selección de porcentaje anual de la demanda'				
			If TA = A Then				


```

'End If
'MsgBox "Extracción acumulada = EAC =" & EAC
  Sheets("FVASO").Select
  If k < 10 Then
    If J > 1 Then
      ERES = Cells(Ren - 1, 31)
      Extranual = Cells(Ren - 1, 30)
    End If
  Else
    ERES = Cells(Ren, 31)
    Extranual = Cells(Ren, 30)
  End If
  ER2 = Extranual * PRR
  If EAC > ER2 Then
    Ext = ER2 - ExtX
    Cells(Ren, Col) = ER2
  End If
  ERES = ERES - Ext
  If k < 10 Then
    If J > 1 Then
      Cells(Ren - 1, 31) = ERES
    End If
  Else
    Cells(Ren, 31) = ERES
  End If
'MsgBox "Coords. FVASO ExtAcum: " & REN & " " & COL
'MsgBox "Aprov: " & I & " Ext: " & EAC

'If J = 12 And k = 6 Then ' Análisis de cálculo de las
extracciones
  'If I = 13 Then
    'MsgBox "Capac. O. T.: " & Q & " Demanda: " &
DE
    'MsgBox "Capac. util Disp.: " & CUD & " Ext. Pol.
Mes: " & ER2
    'MsgBox "Extr. acum.: " & EAC & " Ext. Prop.: " &
Ext
  'End If
'End If
2210      DemR = DE - Ext
2220      DA2 = DemR
' A cont. se considera que si en el período hubo
derrames, los derrames disminuyen por las
extracciones y la presa puede terminar casi llena,
excepto por las evaporaciones.
2230      Sheets("Dem2").Select
'MsgBox "DemR: " & DemR & " Ext: " & Ext & "
CDem: " & DA
2240      Cells(P1, P2 + 15) = DemR
2260      Else
'MsgBox "La fuente " & FTE & " no opera en este
período"
2280      End If
2300      End If 'Si la fuente no opera,
simplemente se analiza la siguiente fuente (debe
suceder con Next v).
2310      Next I3
2320      DE = DA2 'Provisionalmente se supone
que la demanda, es la demanda remanente'
2330      If DE = 0 Then
2340          v = M2 'Si se analizan todos los
aprovechamientos y resulta aún DE>0, significa la
anticipación de un déficit, que se indica en el
segundo grupo de columnas de DEM2
'MsgBox "La DemR = 0, entonces v = " & v
'Verificación de cálculo
2360      End If
'MsgBox "Déficit anticipado =" & DemR & " Dem.
Satisf. =" & D1 - DemR
2380      Next v
2390      End If
'Continúa el análisis de la demanda U
'CALCULO DE RETORNOS MÍNIMOS R, A y B .
Posteriormente se puede actualizar según
funcionamiento hidrológico y políticas de operación
de plantas de tratamiento, pues se consideran estos
los retornos mínimos disponibles del período
2391      Sheets("DEM2").Select
2392      For lu = 0 To M - 1
2393          CT = lu * (PIN + 3) + 2
2394          If Cells(CT, 1) = DA Then
2395              P1 = CT + J + DAN
2396              P2 = 1 + k
2397              P3 = CT 'Usado posteriormente en el
análisis de retornos
2398              Retorno = (Cells(P1, P2) - Cells(P1, P2
+ 16)) * Cells(P3, 43) ' Se consideró la demanda
total para el cálculo de los retornos, aquí hay un
error porque aún se desconoce el déficit real, el
hipotético es muy conservador. Además se cambió
un número 29 por uno 16, referido a la columna de
demandas remanentes
2399              Cells(P1, P2 + 48) = Retorno 'Retorno
total
2400          Cells(P1, P2 + 62) = Retorno * Cells(P3, 44)
'Llenado de matrices de retornos clasificados
2401          Cells(P1, P2 + 76) = Retorno * Cells(P3, 45)
'Retorno tipo B
2402          Cells(P1, P2 + 104) = Retorno - Cells(P1, P2
+ 62) - Cells(P1, P2 + 76) - Cells(P1, P2 + 90) - Cells(P1,
P2 + 118) 'Retorno tipo D
2403          End If
2404          Next lu
'ACTUALIZACIÓN DE RETORNOS TIPO E y C
2405          If DE > 0 Then
2410              Corr = (D1 - DEF) / D1 ' Coeficiente de
corrección de retornos
2420              Cells(P1, P2 + 90) = Cells(P1, P2 + 90) * Corr
'tipo C'
2430              Cells(P1, P2 + 118) = Cells(P1, P2 + 118) *
Corr 'tipo E'
' P R O Y E C T O S   T I P O   B - Transferencia +
tratamiento
2440              Sheets("Cronos").Select
2450              For lun = 1 To 25
2460                  If Cells(lun + 68, 3) = NE Then 'Se revisa
proyecto del nodo. Se confirma si acaso el nodo que se
analiza (NE), recibe alguna transferencia.
2470                      NH = Cells(lun + 68, 2) 'Nodo de donde
proviene el agua -en este mismo período-
'Toma de datos de la planta de tratamiento y/o
transferencia'
2490                      CMO = Cells(lun + 68, 7 + k) 'Ritmo mensual
de operación'
2500                      CMC = Cells(lun + 68, 21) 'Costo por
tratamiento'

```

2520	CTRA = Cells(lun + 68, 22) 'Costo de transferencia'	2740	Next IZ	3120	NA = AF - All 'Número de años en funcionamiento	3291	CT = LUC * (PIN + 3) + 4
2530	AIN = Cells(lun + 68, 5) 'Años inicial y'	2750	Sheets("Acum2").Select	3130	CVE = Cells(D + I, 1) 'Clave del aprovechamiento	3292	NI = Cells(CT, 1)
2540	AFI = Cells(lun + 68, 6) ' final de operación'	2760	For LUC = 0 To M + N + N9		'MsgBox "El aprovechamiento " & CVE & " en orden " & I & " opera"	3300	If NI = NE Then
2550	CMCS = Cells(lun + 68, 7) 'Capac. en m³/s'	2761	CT = LUC * (PIN + 3) + 4	3140	CM = Cells(D + I, 7) ' Cap. Máx. Aprov.	3310	Sheets("Acum2").Select 'Regreso al proceso normal'
2560	Sheets("Dem2").Select 'Búsqueda de retornos tipo B en la base de datos'	2770	NI = Cells(CT, 1)	3150	CN = Cells(D + I, 8) ' Cap. muerta	3320	P1 = CT + DAN + J
2570	BNA = 0	2780	If NI = NE Then	3160	CU = Cells(D + I, 9) ' Cap. útil	3330	P2 = 16 + k
2580	For IZ = 0 To M - 1	2790	PA = CT + DAN + J	3170	COTR = Cells(D + I, 11) 'Capacidad de desfogue en m³/s	3340	E = Cells(P1, P2) 'Transporte de datos de ACUM2 a FVASO
2581	CT = IZ * (PIN + 3) + 2	2800	PB = 1 + k		'MsgBox "P1=" & P1 & " P2 = " & P2 & "Esc llegada AArr: " & E	3360	Sheets("FVASO").Select
2590	NI = Cells(CT, 1)	2810	Cells(PA, PB) = Cells(PA, PB) + RB	3180	X2 = Cells(D + I, 12) 'CTE x² C-A. Area(1000 x Ha) y Cap.(Mm³)	3370	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 2 + k).Value = E 'Entradas al aprovechamiento
2600	If NI = NH Then	2820	End If	3190	X1 = Cells(D + I, 13) 'CTE x C - A		'Aquí mismo comienza a procesarse la rutina de almacenamientos. Primera parte
2610	PA = CT + DAN + J	2830	Next LUC	3200	XC = Cells(D + I, 14) 'CTE C - A	3390	If k = 1 Then
2620	PB = 77 + k	2840	End If	3210	XE2 = Cells(D + I, 15) 'CTE x² V/100 - C.Esc de Esc. Vol = Vol / 100 en Mm³, C.Esc. en %	3400	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = E + Cells(NFV - 1 + ((CVE - 1) * CIC) + J, 29).Value 'Almacenamiento anterior + entradas al nodo'
2630	RB = Cells(PA, PB) 'Retornos tipo B'	2860	Next lun	3220	XE1 = Cells(D + I, 16) 'CTE x V/100- C.Esc.	3410	Else
	'Hacer aquí el cálculo del volumen procesable por proyecto f(capac.max,%)	2870	End If	3230	XEC = Cells(D + I, 17) 'CTE V/100- C.Esc.	3420	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = E + Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 16 + k).Value
	'Aún es necesario dar el período de operación a los proyectos de reuso y transferencia - considerarlo'	3050	Next u	3240	DM = Cells(D, 17 + k).Value 'días/mes'	3430	End If
2660	CMMC = CMCS * 86.4 * DM / 1000 * CMO		'FASE II. SIMULACION HIDROLOGICA'	3250	EVM = Cells(D + I, 17 + k).Value 'Evap. Pot.		'MsgBox "Alm 0 + Ent=" & Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k)
2670	If CMMC < RB Then	3060	For I = 1 To N 'Se comienza a analizar el efecto de las obras hidráulicas, una por una	3270	AIM = Cells(D + I, 47).Value 'Alm. inicial Sim.(final período anterior)	3440	If Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) > CU + CN Then ' Se confirma si hay excedentes por derramar
2680	RB = CMMC	3070	Sheets("Cronos").Select		'Ver comentarios de explicación en propuesta de extracciones, que también contempla esta información	3450	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 32 + k) = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) - CU - CN
2685	Cells(PA, PB) = RB 'Escurrimiento aguas abajo	3080	All = Cells(D + I, 5) 'Año de inicio de operaciones	3280	Sheets("Acum2").Select 'Búsqueda de escurrimientos de entrada modificados a la matriz Acum2	3460	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = CU + CN 'Actualización del almacenamiento
2690	End If	3090	AF = Cells(D + I, 6) 'Año final de operaciones	3290	For LUC = 0 To N + M + N9		
	'MsgBox "Esc. neto AAb: " & AAE ' = Ret + Derr	3100	If All < Jj + 1 And AF > Jj - 1 Then 'Se identifica si el aprovechamiento se encuentra en operación				
2720	BNA = 1		'Toma de datos del aprovechamiento para análisis hidrológico'				
2730	End If	3110	NE = Cells(D + I, 3) 'Nodo de localización				

3470	derr = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 32 + k)	'MsgBox "Extr. Neces. Nivel de conservación: " & Extr 'Verif. de cálculo	3880	Alm = (Alm1 + Alm2) / 2	4060	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 138 + k) = AAE 'Escurrimiento efectivo aguas abajo.	
3480	Else	' A continuación se modifica el volumen al final del periodo, debido a las extracciones'	3890	Area = (XC + X1 * Alm + X2 * Alm ^ 2) / 1000 'Area en hectáreas	4070	Sheets("Acum2").Select	
3490	derr = 0		3900	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 93 + k) = Area		'ACTUALIZ DE ESC ACUMULADO, EN ACUM2, AUTOMATICA	
3500	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 32 + k) = 0	3700	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) - Extr - Ext 'Alm. Obsérvese que Ext es para agua potable, mientras que Extr, es para la política. (Posible derrame por conservación).	3910	Evap = Area * EVM / 100000 'Evaporación en Mm ³	' Se paralizó, pues P1 esta mal definido aqui, y bien definido previamente 4090 P1 = NE * (PIN + 3) + 4 + J ' Actualización "+ J"'	
3510	End If 'Los derrames calculados hasta el momento no consideran extracciones	3710	If derr > 0 Then 'Influencia de las extracciones en los posibles derrames	3920	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 108 + k) = Evap	4100	P2 = 31 + k
	'MsgBox "Derrame por vertedor:" & derr	3720	If derr - Ext - Extr > 0 Then	3930	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) - Evap 'Actualización del almacenamiento final del periodo, restadas las evaporaciones	4110	Cells(P1, P2) = AAE 'TRANSP ESC AAB A ACUM2, AUTOMATICA
	'EFECTO DE LAS EXTRACCIONES	3730	derr = derr - Ext - Extr	3940	Almac = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k)	Cells(P1, 60 + k) = 1 ' - verificador de influencia de una obra hidráulica -	
3540	Ext = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 77 + k) 'Las extracciones se encuentran previamente asignadas por la primera parte de la subrutina	3740	Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) = CU + CN 'Almacenamiento al final del período		'Aquí se asigna a la matriz de escurrimiento aguas abajo, el valor de Derr + Extr	'P R O Y E C T O S T I P O A: Transferencia gratuita nodo distinto al de aguas abajo'	
	'Cálculo de derrames para alcanzar el nivel de conservación.	3750	Else		'MsgBox "Almac. final: " & Almac & "Evap.:" & Evap 'Verif. de cálculo	4130	'Consideración de retornos hacia afuera del nodo (Aguas abajo u otro nodo)
	'Se calcula después de considerar la demanda, para no desperdiciar el agua.	3760	derr = 0			4140	Sheets("Cronos").Select
		3780	End If			4150	For lun = 1 To 25
		3790	End If			4160	If Cells(lun + 37, 30) = NE Then ' Se identifica si hay nodos aportadores
	'Ya no se condicionó la extracción por política de abastecimiento aguas abajo, a la capacidad de la obra de desfogue		'A continuación se calculan las evaporaciones			4170	NH = Cells(lun + 37, 1) 'Nodo Aportador
3590	Alm = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k) - Ext	3810	If k = 1 Then 'Cálculo de los amacamientos sin evaporación, al inicio y al final del periodo	4000	AA = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 123 + k) / 100 'Valor de entrada a la función de cálculo del coeficiente de escurrimiento	4180	Sheets("Dem2").Select
		3820	Alm1 = Cells(NFV - 1 + ((CVE - 1) * CIC) + J, 29)	4010	CES = XEC + XE1 * AA + XE2 * AA ^ 2 'Coeficiente de escurrimiento calculado	4190	BNA = 0
		3830	Alm2 = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k)	4020	If CES > 0.9 Then	4200	For LUP = 0 To M - 1
		3840	Else	4030	CES = 0.9 'Con esto se evitan escurrimientos netos mayores al original	4201	CT = LUP * (PIN + 3) + 2
		3850	Alm1 = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k - 1)	4040	End If	4210	NI = Cells(CT, 1)
		3860	Alm2 = Cells(NFV + ((CVE - 1) * CIC) + J, 17 + k)	4050	AAE = 1 * AA * 100 'Escurrimiento efectivo aguas abajo. Si se aplica función de escurrimiento, emplear en lugar del 1, CES'	4220	If NI = NH Then
		3870	End If			4230	PA = CT + DAN + J
						4240	PB = 63 + k
						4250	RA = Cells(PA, PB) ' R E T O R N O T I P O A'

4270	BNA = 1 'Bandera que registra dato hallado	'Actualización del escurrimiento aguas abajo en nodos en que aún no influye la infraestructura
4280	End If	For LUS = 0 To 20 'Hasta número total de nodos .. sería bueno darlo como dato de CRONOS
4290	Next LUP	
4300	If BNA = 1 Then	PA = LUS * (PIN + 3) + 4 + DAN + J
4310	Sheets("Acum2").Select	NI2 = Cells(PA, 60 + k)
4320	For LUP = 0 To M + N + N9	If NI2 = 0 Then
4321	CT = LUP * (PIN + 3) + 4	Cells(PA, 31 + k) = Cells(PA, 16 + k).Value
4330	NI = Cells(CT, 1)	End If
4340	If NI = NE Then	Next LUS
4350	PA = CT + DAN + J	4490 Next k
4360	PB = 1 + k	4500 Next Jj
4370	Cells(PA, PB) = Cells(PA, PB) + RA	4510 End Sub
	' Confirmar que en las celdas señaladas en el comando anterior, no existan fórmulas para no sobrescribirlas (en Acum2)	'Posteriormente se modificará CP, con retornos tipo A - Verificar si esto ya sucede'
4380	End If	'Escribir esto como una importante hipótesis: No se considera función de infiltración para el análisis del escurrimiento aguas abajo en el caso de retornos - o implementarlo'
4390	Next LUP	
4400	End If	'Aún no se considera que las extracciones de una presa, río o pozo, pueden requerir tratamiento'
4410	End If	'Específicamente la transferencia sucede en el mismo período, sin períodos de retraso. Actualizar el programa y tomar en cuenta esto
4420	Next lun	
4430	End If	
4440	Next LUC	' Confirmar la metodología de cálculo de los impactos sobre los escurrimientos aguas abajo
4450	Else	
	'MsgBox "El aprovechamiento " & I & " No opera en este período"	
4470	End If	
4480	Next I	
	Sheets("Acum2").Select	

Debido a su gran amplitud, el algoritmo del código se presenta en archivo magnético y en un tamaño mayor al carta, posteriormente.

B.5 IDENTIFICACIÓN DEL MODELO

Para confirmar la aplicabilidad del modelo matemático para simular el funcionamiento del sistema hidrológico ante diferentes agentes de incidencia en el ciclo hidrológico, se procedió a comparar los resultados generados para el período 1940 – 1998, con registros hidrométricos y de almacenamientos en presas, existentes a priori.

La validación no resultó sencilla, la correlación entre los datos mensualmente generados y los registrados, fue variable en los diferentes nodos del sistema hidrológico. En algunos sitios no existe hidrometría, en otros, los usos del agua no modifican sensiblemente el gasto aguas abajo – especialmente en la cuenca del alto río San Juan, aguas arriba del Cuchillo -, por lo cual los resultados más representativos se obtuvieron en las estaciones hidrométricas de los ríos Pesquería y San Juan, aguas abajo del Cuchillo.

Entre la información histórica necesaria para la identificación del modelo y que a su vez no fue obtenida, destaca:

- Políticas de operación de las fuentes de aprovechamiento durante años pasados. De modo que se emplearon políticas recientes.
- Evolución histórica de las captaciones, así como de su eficiencia y capacidad de extracción. Por lo que se aplicaron, según el tipo de demanda, tasas de proyección demográfica y escasos registros históricos.
- Porcentaje de retornos que aportó cada tipo de uso. Para este fin se consideraron coeficientes de 30% para el uso agrícola y 60% para los otros usos.
- Porcentaje de reuso. Únicamente se conocen datos recientes, que se consideraron constantes.
- Pérdidas variables por: evapotranspiración, infiltración y evaporación. La evaporación se estimó a partir de los promedios anuales mensuales en los puntos de almacenamiento mediante presas. La infiltración y evapotranspiración se despreciaron.,
- Escurrimiento “virgen” por cuenca propia. Este se intentó calcular mediante una conjugación de todas las hipótesis establecidas para definir el ciclo hidrológico y como resultado, el balance hidrológico para cada área de análisis.

A continuación se muestran algunas de las preguntas que se respondieron al aplicar el modelo, para verificar su utilidad y la similitud de sus resultados con los aspectos históricos medidos y observados.

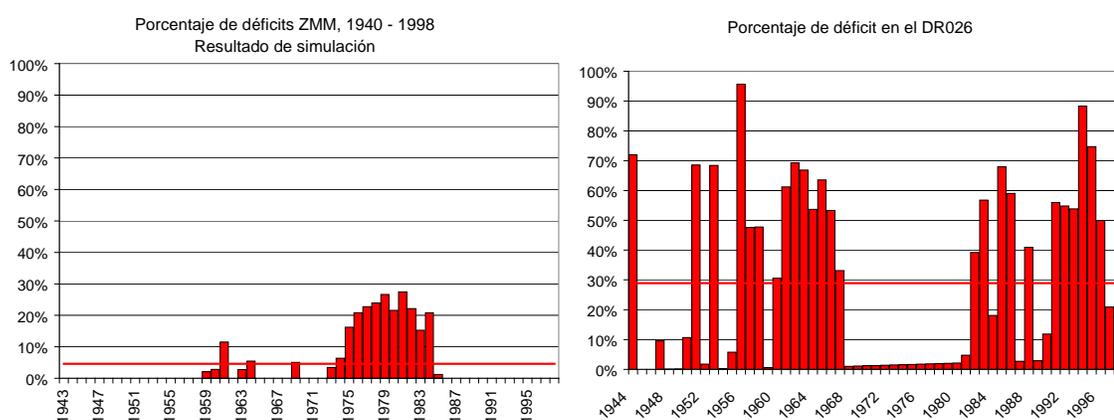
B.6 APLICACIÓN DEL MODELO AL PERÍODO 1942 – 1998.

El proceso de identificación del modelo, es una tarea que puede prolongarse con provecho, tanto como lo permita la calidad de la información histórica. El ejercicio de identificación se fundamentó en el análisis de la oferta y de la demanda, de modo que se simularon distintas condiciones históricas imaginarias, para analizar el efecto que produce el uso del agua y sus características.

Algunas de las interrogantes de mayor interés y estudiadas por medio del modelo, se presentan a continuación:

- 1) ¿Cuáles fueron las deficiencias en los distintos centros de demanda incluidos en el Modelo?

Figura B. 3. Deficiencias calculadas para período 1948 – 1998, mediante el Modelo



Esta pregunta resultó de gran interés, ya que reveló la ausencia de una información confiable que describa la evolución de la demanda real en las subcuencas en que se discretizó la superficie de la CRSJ, especialmente para fines agrícolas.

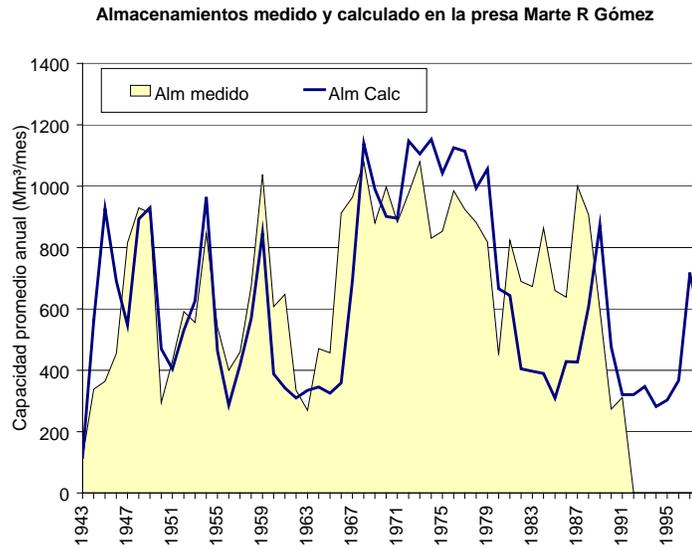
Las deficiencias en el sector agrícola reflejaron un exceso, parcialmente debido a que no se restó la demanda satisfecha por precipitación pluvial.

A diferencia del sector agrícola, las deficiencias calculadas para la ZMM fueron de mayor congruencia con los reportes históricos (tal como se describe en el apartado de sequías en el capítulo IV).

- 2) ¿Cuál fue la correspondencia entre los almacenamientos calculados y registrados en la Presa Marte R. Gómez?

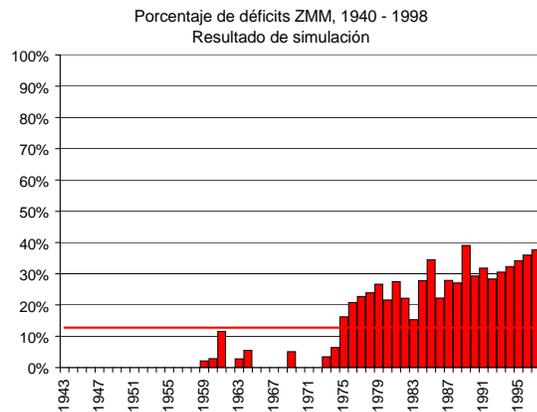
Los almacenamientos calculados para la presa Marte R. Gomez, presentaron cierta similitud con respecto a los registrados, excepto en el período de 1979 a 1988, tal como se muestra en la siguiente Figura B. 4.

Figura B. 4. Comparación de almacenamientos calculados con los registrados



- 3) ¿Cuál habría sido el déficit en la ZMM, si no se hubieran construido las presas Cerro Prieto ni El Cuchillo?

Figura B. 5. Deficiencias calculadas en el suministro de agua potable a la ZMM, al suponer la ausencia de las presas Cerro Prieto y el Cuchillo, 1943 – 1998



El resultado de esta simulación refleja la relevancia de la importación de agua desde estas grandes presas. Las deficiencias resueltas mediante la presa Cerro Prieto, desde 1983, habrían crecido inevitablemente.

- 4) ¿Cómo funcionaría el sistema si no se hubiera construido la presa El Cuchillo? ¿Qué otra alternativa hubiera mitigado los déficits?

La modelación de estas condiciones, reveló la importancia durante los períodos de escasez, de los acuíferos, así como la de la presa Cerro Prieto.

El resultado fue incierto, ya que no se dispone de registros *vírgenes* para la cuenca del río Pablillo durante el período 1992 – 1998 y además se desconoce la variación en la productividad de los acuíferos y galerías filtrantes durante los años secos.

Al observar los problemas anteriores, se procedió a considerar una capacidad de producción en los acuíferos, igual al promedio histórico registrado.

De acuerdo con las hipótesis propuestas, la productividad de las fuentes subterráneas y de la presa Cerro Prieto, se incrementaron considerablemente y lograron evitar el déficit para la ZMM; esto, sin considerar el decremento en la productividad de los acuíferos y con escurrimientos *vírgenes* en Cerro Prieto, que permitirían extracciones de magnitud promedio de 4.16 m³/s, lo cual excede al caudal máximo registrado durante su historia, de 3.03 m³/s por 1.13 m³/s.

Cabe mencionar que no se consiguieron los registros hidrométricos de las entradas a Cerro Prieto, desde 1982, de modo que las inferencias realizadas, podrían no haber reflejado el impacto de la sequía sobre dicho embalse.

Una interpretación práctica de esta situación, es que si la presa Cerro Prieto no hubiera logrado incrementar su productividad durante el período 1986 a 1998, en un promedio de 1.13 m³ / s, se habrían presentado déficits en la ZMM.

5) ¿Cuál es el comportamiento de las evaporaciones, su magnitud y su relevancia?

En general, las evaporaciones en los embalses, varían poco de un año a otro. Los mayores cambios se dan cuando se presentan grandes avenidas, después de sequías prolongadas.

La magnitud de las evaporaciones en los principales almacenamientos de la CRSJ, calculados por el modelo, fueron: en la Boca, 7 Mm³ / año; en Cerro Prieto, 52 Mm³/año; en el Cuchillo, 180 Mm³/año y en Marte R. Gómez, de 158 Mm³.

El total de estas evaporaciones, asciende a un promedio anual, del orden de 397 Mm³ al año, equivalentes a un gasto constante de casi 13 m³/s (magnitud superior a la demanda de agua potable de la ZMM). Las presas que abastecen a la ZMM, tienen una capacidad de suministro de hasta 16 m³/s, mientras que evaporan aproximadamente 7.5 m³/s

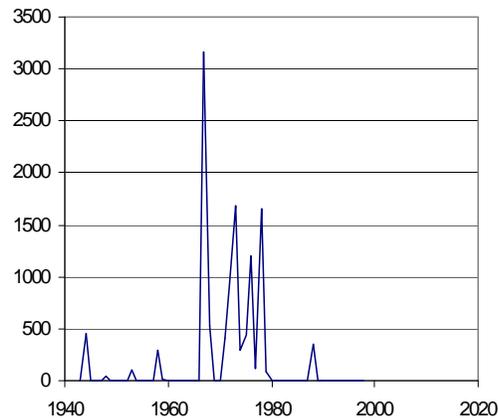
6) ¿Cuál fue el comportamiento de los derrames en Marte R. Gómez, hasta antes de construir el Cuchillo, y cual es su comportamiento esperado después de su construcción?

Figura B. 6. Derrames calculados para la presa M. R. Gómez, para el período 1940 - 1998

De acuerdo con los cálculos, presentó derrames en 17 de 58 años, es decir, en un un 30 % de los años. El valor promedio fue de 200 Mm³.

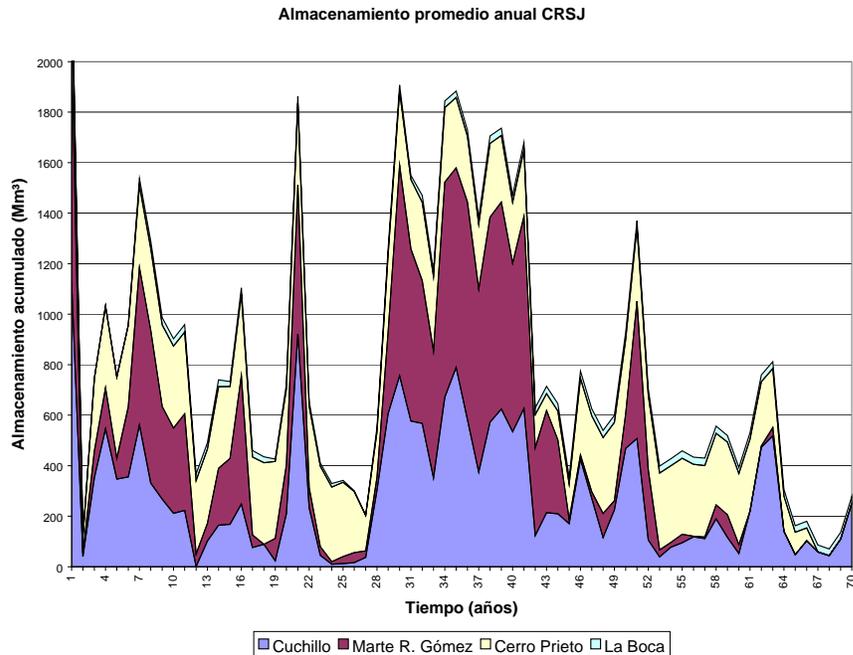
Únicamente en cuatro ocasiones ha derramado más de 1,000 Mm³ anuales.

Al considerar estos resultados, se concluye que a partir de la Construcción de la presa El Cuchillo, la presa Marte R. Gómez, únicamente presentará derrames durante la incidencia de avenidas extraordinarias, con un período de retorno de aproximadamente 16 años; lo que significa que la frecuencia de los derrames se reducirá aproximadamente 5 veces.



7) ¿ De qué orden resultan los valores extremos del almacenamiento conjunto esperado en las principales presas que satisfacen la demanda de la Cuenca del Río San Juan?

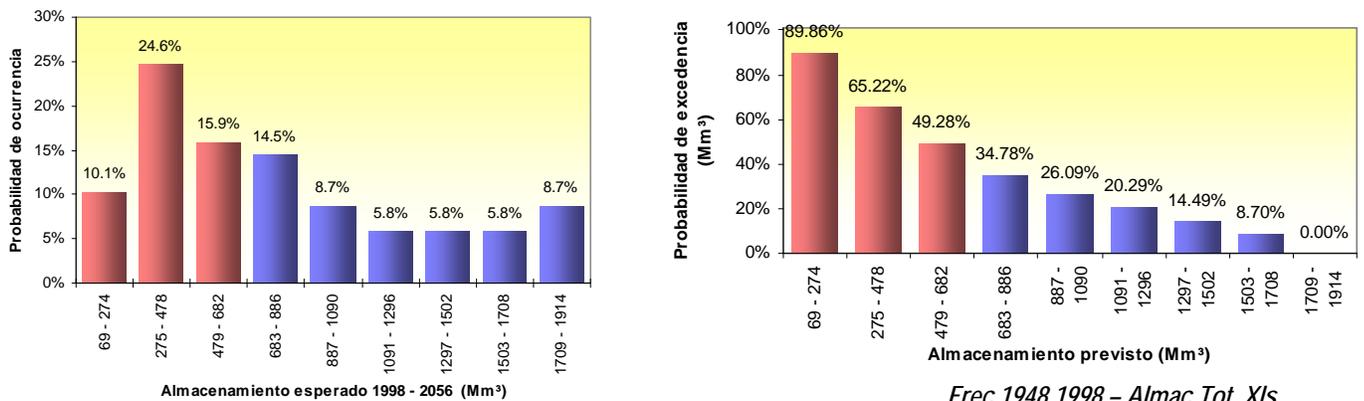
Figura B. 7. Almacenamiento acumulado en principales presas de la CRSJ, calculado para un escenario de tendencia actual, período 1998 - 2068



Resultado alm util sim econ.xls

De acuerdo con una simulación matemática, los valores máximos ascienden a poco más de 1800 Mm³ (casi la capacidad total de las presas se llenaría), mientras que los mínimos podrían alcanzar magnitudes inferiores a los 100 Mm³. Su frecuencia se describe en las siguientes gráficas.

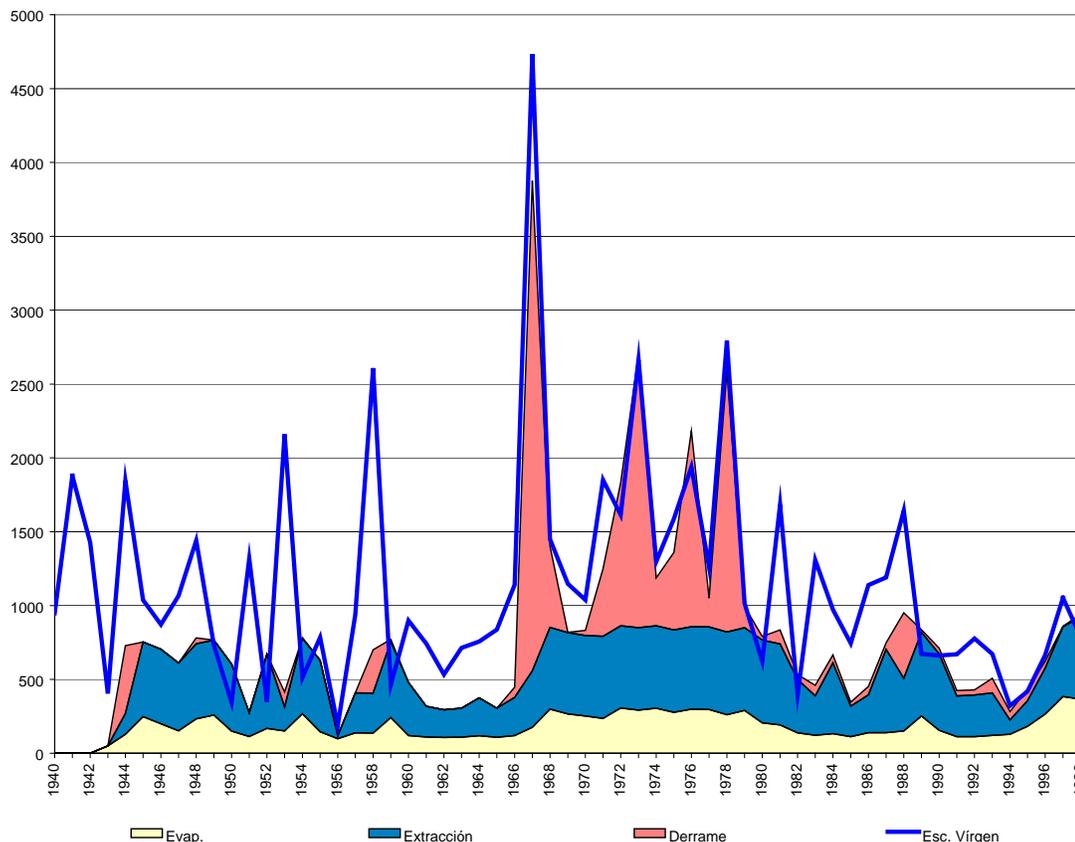
Figura B. 8. Probabilidades de ocurrencia y excedencia en almacenamiento de agua superficial para un escenario de tendencia actual



Como resultado de un análisis de frecuencias se observó que “la mediana” del almacenamiento total esperado, es del orden de 680 Mm³, ligeramente inferior al promedio, de casi 800 Mm³. La moda se clasificó en un orden de 376 Mm³.

- 8) ¿Cuál es la relación observada entre el escurrimiento y el funcionamiento de las presas en el período 1940 – 1998?

Figura B. 9. Escurrimiento, almacenamiento, evaporación y extracción de embalses, 1940 - 1998

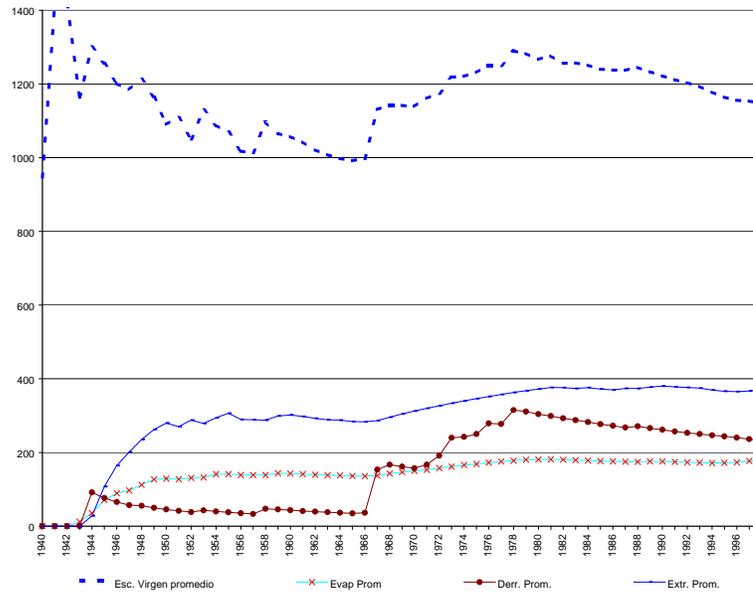


Se observó que únicamente durante los períodos consecutivos con escurrimientos extraordinarios, se han aprovechado al máximo las presas. Ocurrieron cuantiosos derrames en dichos años.

Con respecto al escurrimiento “virgen” promedio anual de la Cuenca del Río San Juan, de 1,147 Mm³, calculado para el período 1940 – 1998, las extracciones en las presas Marte R. Gómez, El Cuchillo y La Boca, fueron del 32% (367 Mm³), con una tendencia final del 40% (460 Mm³) ; las evaporaciones, del 16% (183 Mm³), con una tendencia del 20% (230 Mm³) y los derrames, del 19%, sin una tendencia definida.

9) ¿Cuál es la tendencia histórica de: el escurrimiento, la extracción, los derrames y las evaporaciones?

Figura B. 10. Promedios acumulados de escurrimiento, extracción y evaporación, 1940 - 1998



Por medio de un análisis de promedios acumulados se observó que el escurrimiento “virgen” promedio tiende a un valor del orden de 1,147 Mm³ / año; mientras que las extracciones se han incrementado gradualmente desde 1943 hasta alcanzar una magnitud del orden de 360 Mm³ anuales. Por otra parte, la tendencia de los derrames cambió drásticamente en el período 1967 – 1978, en que ocurrieron constantes lluvias extraordinarias, por lo que la tendencia actual de las evaporaciones no resulta clara.

Figura B. 11. Porcentaje de extracción, escurrimiento y evaporación en los embalses 1940 - 1998

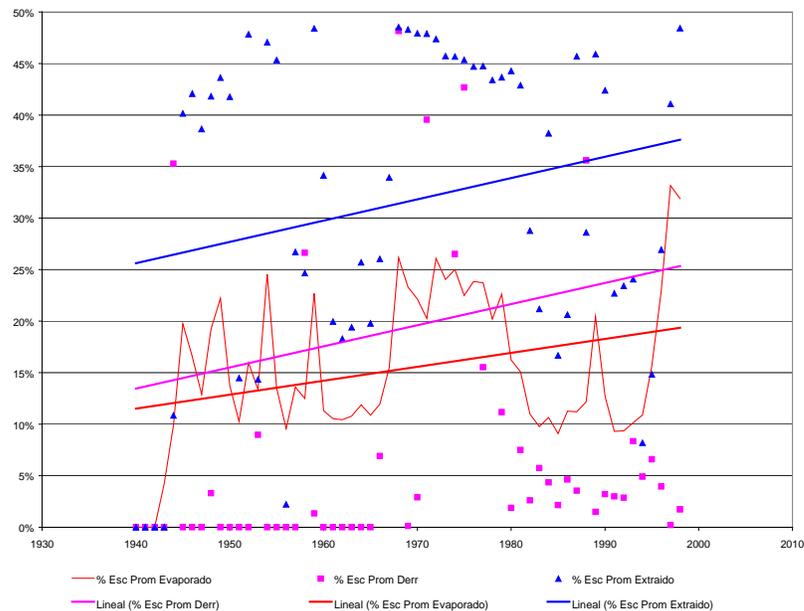


Figura B. 12. Extracción y evaporación anual de agua superficial y tendencia hasta 1998

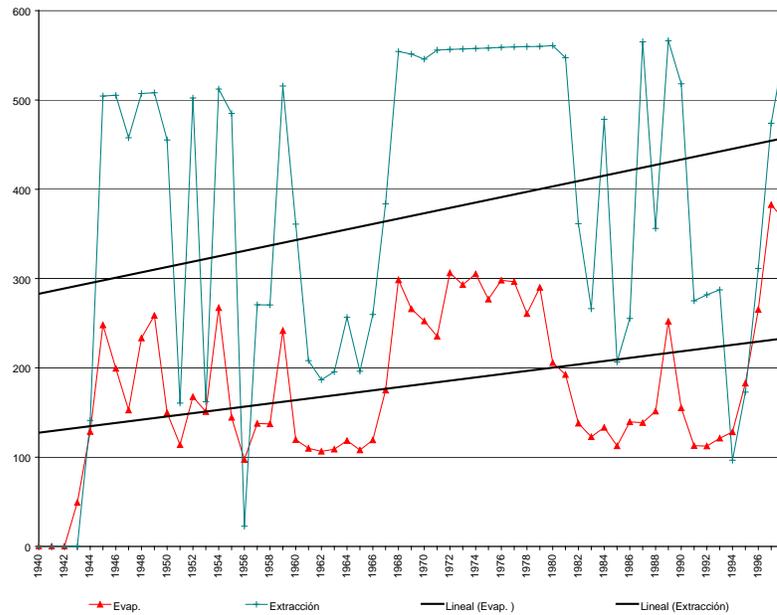
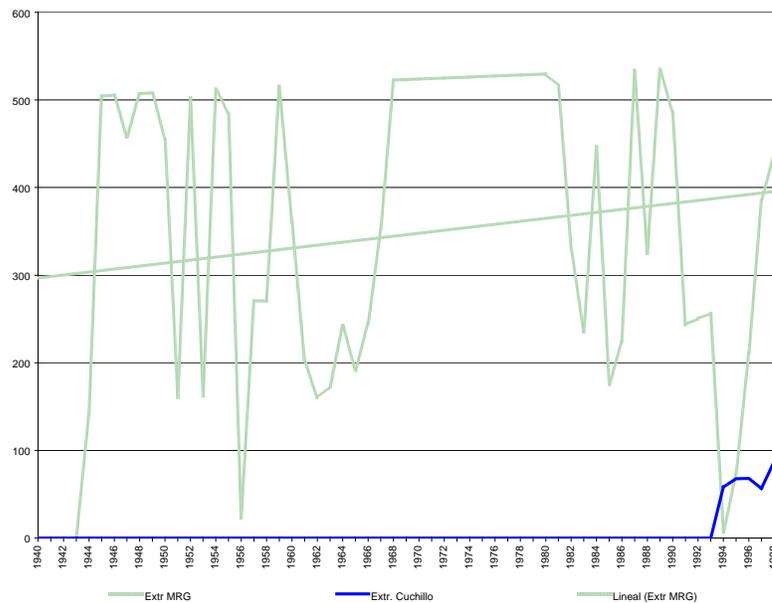


Figura B. 13. Extracción en las presas Marte R. Gómez y el Cuchillo hasta 1998



SJ2000 histórico Cprieto Limitado.xls

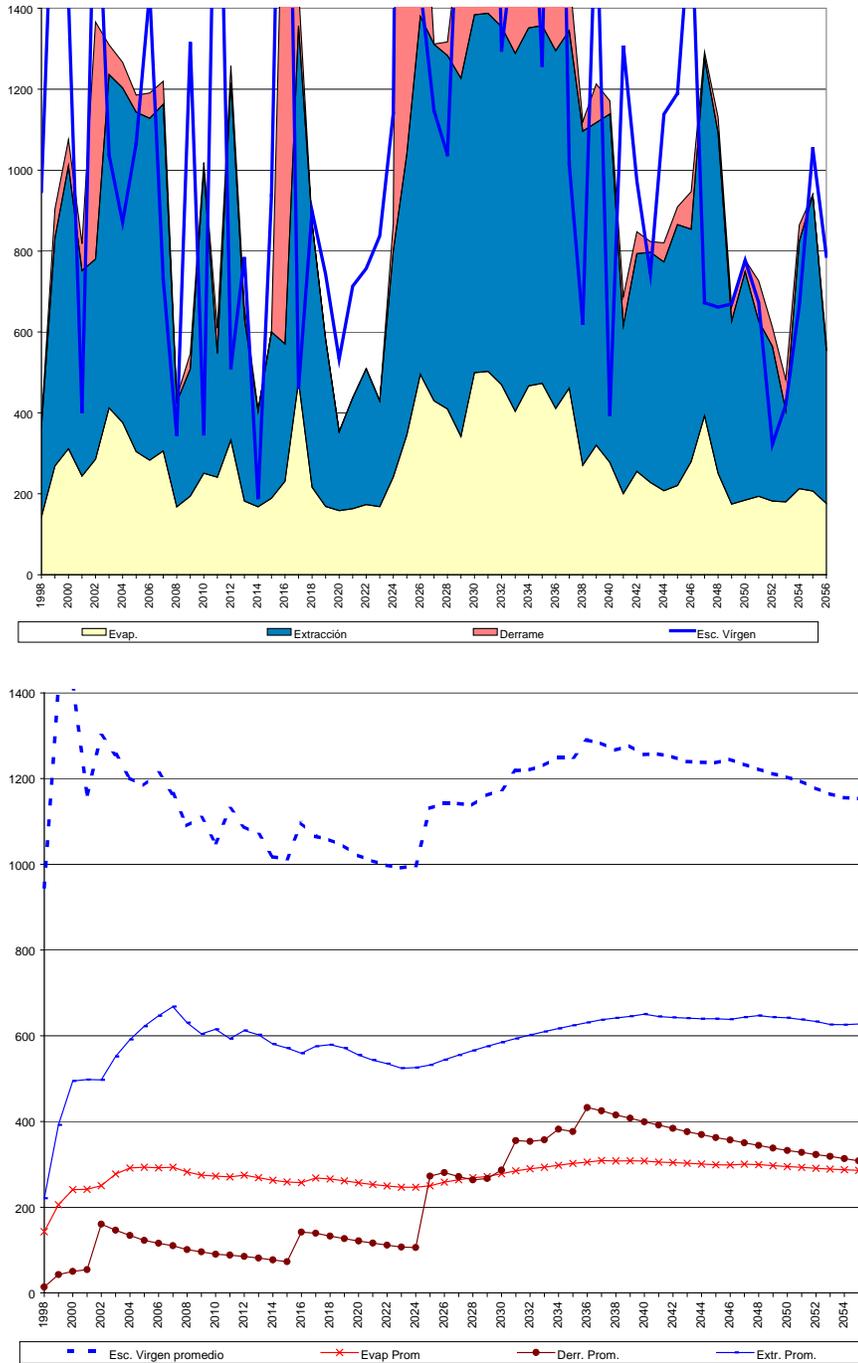
B.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONDICIONES FUTURAS.

10) ¿Cuáles son las condiciones futuras esperadas, al construirse la segunda etapa del proyecto El Cuchillo?

En las próximas décadas la intensificación del uso del agua superficial debida a la operación de la Presa "El Cuchillo", hasta un gasto instantáneo de $12 \text{ m}^3 / \text{s}$, junto con las importaciones desde fuentes externas y el reuso, incrementarán el volumen promedio anual de aprovechamiento en la

CRSJJ, desde 460 Mm³ (tendencia hasta 1998) hasta un orden de 600 Mm³ (54% del escurrimiento “virgen”) . La evaporación en los embalses propios de la cuenca ascenderá en promedio, desde el 16% hasta el 23% (270 Mm³ / año).

Figura B. 14. Efectos acumulados al intensificar extracciones en Presa El Cuchillo, 1998 – 2066



Sj2000esperado base cuchillo. Xls

11) ¿Qué ocurriría si se pretendiera incrementar la extracción al máximo en la presa El Cuchillo, mediante el incremento en el bombeo?

En caso de que se proceda a intensificar al máximo las extracciones para suministro de agua potable de la ZMM en la presa El Cuchillo, la extracción promedio de dicho embalse, difícilmente rebasará un promedio de 250 Mm³ anuales, lo que incrementaría únicamente en un 10% las extracciones con respecto al proyecto conjunto de las primeras dos etapas. Se prevén períodos críticos con extracciones promedio de los siguientes órdenes: 156 Mm³ en diez años, 127 Mm³ en cinco años y 77.58 Mm³ en dos años.

12) ¿Cuál se puede considerar que es el impacto de la presa El Cuchillo en el Distrito de Riego 026, sin considerar la intensificación del uso de agua tratadas en este último?

Al comparar dos escenarios, el primero *sin la existencia de la presa El Cuchillo* y el segundo, con esta última (ambos con el aprovechamiento complementario de fuentes externas a la CRSJ para abastecimiento de la ZMM), se identificó que la presa El Cuchillo implica:

- Una reducción en la posible extracción de agua en la presa Marte R. Gómez, con promedio de 65 Mm³ anuales, lo que representa un 15% de la extracción promedio en ausencia de la presa El Cuchillo;
- Durante las sequías se observan deficiencias acumuladas de hasta 1,380 Mm³; que reducirían la disponibilidad de agua en el Distrito de Riego 026, Bajo San Juan (volumen suficiente para regar el Distrito de Riego 026 por más de dos años), con posibles impactos catastróficos.

13) ¿Qué sucedería si con las políticas actuales de operación, El Cuchillo fuera la fuente básica de abastecimiento y en segundo término, las fuentes subterráneas y Cerro Prieto?

Sería posible suministrar holgadamente agua a la ZMM, aproximadamente diez años más; pero los ingresos a la presa Marte R. Gómez, se reducirían aproximadamente en un 50 % con respecto al comportamiento histórico observado.

Para obtener una respuesta más precisa en este respecto, sería necesario generar diversas muestras sintéticas, ya que las variaciones de la precipitación representan una de las principales variables que definirían los impactos de esta política.

Tal como se describe en capítulos precedentes, la aplicación del modelo, requiere una serie de registros extensos, consistentes y confiables, que permitan a su vez, generar registros sintéticos mediante métodos multivariados. Se considera que únicamente con dichos elementos sería posible obtener resultados significativos para la evaluación del efecto futuro de las acciones de desarrollo hidráulico.

B.8 RESULTADOS DE LOS MODELOS SIMPLIFICADOS DE ANÁLISIS

Los modelos simplificados de análisis, incluidos con los archivos magnéticos, fueron de utilidad para el análisis local de cada centro de demanda. A su vez, simplificaron el cálculo de los posibles costos unitarios del agua y la necesidad de nuevas fuentes de abastecimiento. Estos modelos se ejemplifican en el siguiente par de figuras.

Figura B. 15. Fuentes de abastecimiento para la ZMM, escenario crítico

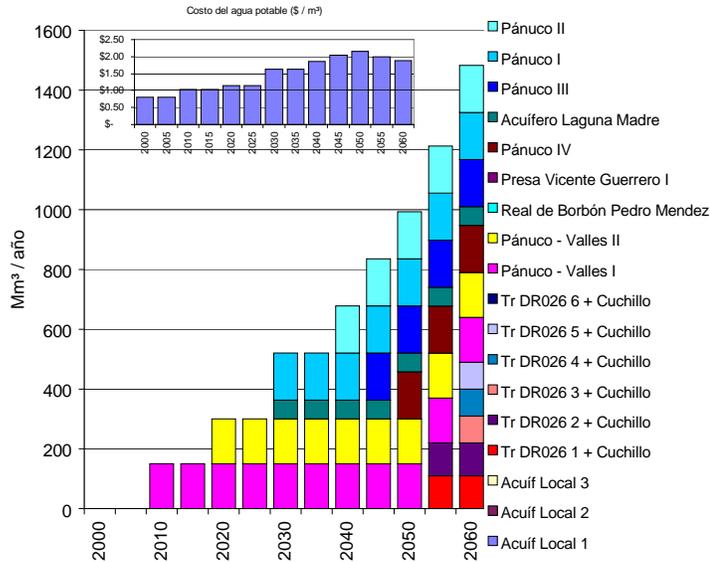
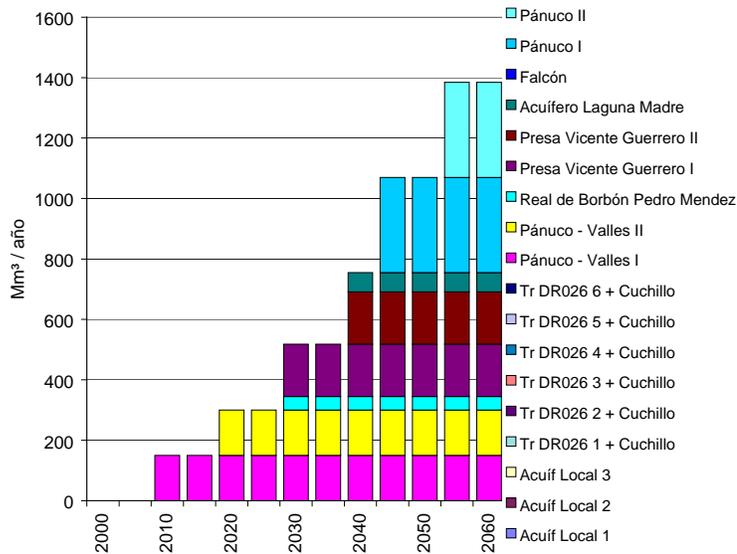


Figura B. 16. Demanda de nuevas fuentes de abastecimiento para el escenario esperado, si los acuíferos no fueran productivos y si la eficiencia en el uso público no mejorara



ANEXO C. SINTESIS DE LA NORMATIVIDAD Y DE LOS ESTUDIOS PREVIOS

INDICE TEMATICO

Anexo C.	Síntesis de la Normatividad y de los Estudios previos	161
C.1	Síntesis de la Normatividad	161
C.1.1	Síntesis de los Antecedentes legales del recurso hidráulico de la CRSJ	161
C.1.2	Síntesis de acuerdos para la reglamentación de la extracción y utilización de las aguas del Sistema Hidráulico del Río San Juan, 1990	162
C.1.3	Algunos artículos de la Ley de Aguas Nacionales de Diciembre, 1992	163
C.2	Síntesis de Estudios previos	166
C.2.1	Estudio de fuentes de abastecimiento para Monterrey	166
C.2.2	Estudio hidrológico definitivo del proyecto El Cuchillo, para suministro de agua a la Ciudad de Monterrey	167
C.2.3	Estudio del aprovechamiento de la cuenca del río Soto La Marina, para abastecimiento de agua a Monterrey, N. L.	167
C.2.4	Estudio de Balance Hidráulico y Políticas de Operación del Sistema Regional de los Ríos Bajo Bravo y San Juan	167
C.2.5	Plan Integral de Abastecimiento de Agua Potable Al Area Metropolitana de Monterrey (PIAAPAMM)	172

INDICE DE FIGURAS

Figura C. 1.	Alternativas de transferencia para el suministro de agua a la Z. M. de Monterrey, estudiadas en 1988: a) Presas El Tunal y Raíces; b) Presa Terreros; c) Presa Falcón	168
Figura C. 2.	Sistema El Cuchillo – Monterrey, propuesto para el suministro de 10 m ³ /s	169
Figura C. 3.	Alternativa de importación de agua desde la cuenca del río Soto La Marina, presas Vicente Guerrero, Real de Borbón y Pedro J. Méndez	169
Figura C. 4.	Conjunto de alternativas de transferencia para el suministro de agua a la ZMM, estudiadas en 1985	170
Figura C. 5.	Sistema de presas involucrados en el Reglamento de operación hidráulica de la CRSJ: La Boca, El Cuchillo, Cerro Prieto y Marte R. Gómez.	172
Figura C. 6.	Gasto aprovechable de las opciones de abastecimiento de agua para la ZMM	174
Figura C. 7.	Costo por metro cúbico de las opciones de abastecimiento del PIAAPAMM	175
Figura C. 8.	Porcentaje de oferta total de agua que representan las alternativas del PIAAPAMM	175
Figura C. 9.	Fuentes subterráneas factibles según análisis a 1999, PIAAPAMM	176
Figura C. 10.	Fuentes de agua superficial: a) Río Guayalejo, b) Río Bravo – Falcón	176
Figura C. 11.	Alternativas de aprovechamiento de agua superficial ubicadas al sur de la Zona Metropolitana de Monterrey	177
Figura C. 12.	Alternativa de aprovechamiento del río Bravo con importación desde la presa Amistad	178

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro C. 1. Síntesis de estudios previos realizados para la Comisión Nacional del Agua</i>	<i>166</i>
<i>Cuadro C. 2. Características de las obras identificadas en estudios previos</i>	<i>166</i>
<i>Cuadro C. 3. Algunas conclusiones y recomendaciones del estudio de Balance Hidráulico y Políticas de operación del Sistema Regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan</i>	<i>171</i>
<i>Cuadro C. 4. Descripción de alternativas del PIAAPAMM para aprovechar nuevas fuentes</i>	<i>173</i>

Anexo C. SINTESIS DE LA NORMATIVIDAD Y DE LOS ESTUDIOS PREVIOS

Este resumen, se consideró para la comprensión de la situación actual en la zona de estudio, y los avances en legislación y estudios hidrológicos que contribuyen a generar oportunidades y restricciones para la propuesta de alternativas.

C.1 SÍNTESIS DE LA NORMATIVIDAD

Como complemento del marco legal, descrito en el capítulo III, a continuación se muestra un resumen de distintos convenios, acuerdos y leyes, que hasta el año 2000, regían sobre el agua en la zona de estudio.

Con respecto al apartado C. 3, se estudió la Ley de Aguas Nacionales y se seleccionaron algunos artículos que resultaron de mayor interés para la Propuesta en proceso.

C.1.1 Síntesis de los Antecedentes legales del recurso hidráulico de la CRSJ

Año	Antecedente	Involucrados	Acuerdos
1917	Se declaran aguas de la CRSJ, propiedad nacional	Ejecutivo Federal	
1952	Veda permanente. Concesión de aguas de RSJ, aguas arriba de MRG.	Ejecutivo Federal, Gob. de Tamaulipas	
1980	Confirmación de la primera etapa del Sistema Linares - Monterrey	Ejecutivo Federal y Gob. de Nuevo León	
1984	Plan Hidráulico Estatal	Gob. de Nuevo León	Abatir el déficit e incrementar el saneamiento de las aguas residuales de la ZMM
1987	Negativa de segunda etapa del proyecto de Linares - Monterrey y aceptación de presa Cuchillo	Ejecutivo Federal, Gob. de Nuevo León y SADM	
1988	Plan Nacional de Desarrollo	Ejecutivo Federal (SPP, SCGF, SEDUE, CNA) Gobs. de Nuevo León y Tamaulipas	
1989	Mejores niveles de bienestar popular	Ejecutivo Federal, Gobs. de Nuevo León y Tamaulipas	
1989		Ejecutivo Federal, Gob. de Nuevo León y SADM	Programa de obras para sistema Monterrey IV, incluido: el Cuchillo, ampliación de potabilizadora San Roque, 12 m ³ /s; construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales con capacidad de 8m ³ /s, para ZMM, reducción de fugas en la ZMM
1990		Ejecutivo Federal, Gobs. de Nuevo León y Tamaulipas	Estudios de SJ, Cuchillo, rehabilitación de planta de bombeo Anzaldúas Rhode, Relocalización de tomas de agua potable dependientes del RSJ, en Tamps. CNA a cargo de operación de la infraestructura
1990		Ejecutivo Federal, Gobs. de Nuevo León y Tamaulipas	Estudio de coordinación entre ZMM y DR026 para optimar el uso del agua de la cuenca del río bravo
1990	Acuerdos presentados al Ejecutivo Federal, para que integre al reglamento el control de la extracción y utilización de las aguas del Sistema hidráulico del RSJ.	CNA, NL, Tamps, SADM y asociaciones civiles de usuarios de los módulos del DR026 BSJ	

C.1.2 Síntesis de acuerdos para la reglamentación de la extracción y utilización de las aguas del Sistema Hidráulico del Río San Juan, 1990

06/09/90	Acuerdos tomados por la CNA, NL, Tamps, SADM y asociaciones civiles de usuarios de los módulos del DR026 BSJ; presentados al Ejecutivo Federal, para que integre al reglamento el control de la extracción y utilización de las aguas del Sistema hidráulico del RSJ.		
Involucrados	Ejecutivo Federal, Gobs. de Nuevo León y Tamaulipas, SADM, CNA y asociaciones civiles de usuarios del DR026		
Objetivos	Se normará la extracción y el uso del agua de la CRSJ, así como de las aguas subterráneas y las presas: Rodrigo Gomez, Cuchillo, MRG, José López Portillo.	Normar el efluente de la ciudad de Monterrey y de la ZMM para DR026 y también el uso de aguas subterráneas y presas para el manejo del agua de la cuenca, especialmente MRG, Cuchillo, La Boca y Cerro Prieto.	Reglamentación de la totalidad de la CRSJ
Acuerdos	<p>Se atenderá LAN y su reglamento y se considerará: Padrón de usuarios, según REPDA. Disponibilidad hidráulica del sistema Aprovechamiento Integral de los recursos hidráulicos Uso eficiente de la infraestructura y de los recursos hidráulicos, por parte de concesionarios y asignatarios. Los volúmenes de agua que los usuarios logren recuperar por la vía de un uso más eficiente, quedarán a su propio beneficio</p> <p>Se consideran las siguientes características en los principales centros de demanda: La ciudad de Monterrey y la ZMM: 346.5 Mm³/año, con un incremento anual de 0.44 m³/s, que se abastecerán de la siguiente Extracciones de presa el Cuchillo, 1a etapa de 5 m³/s; 2a, de 10 m³/s El agua suministrada al DRBSJ 026, Tamps. Será de un máximo de 553.8 Mm³/año, provenientes de: Presa MRG, que almacenará agua residual de la ZMM e importaciones de la presa Las Blancas. Esto para el riego de 69,099 El suministro para el DR031 Las Lajas, será de un máximo de 24 Mm³/año, entregados en puntos de control del DR para las 3,890 ha delimitadas por acuerdo presidencial. El suministro de agua para las U de R de Cerro Prieto, Leones y San Isidro, N.L. Será de un máximo de 9.4 Mm³/año, medidos La demanda de aprovechamientos aguas arriba de la presa MRG se considera equivalente a la suma de derechos registrados. La demanda de aprovechamientos aguas arriba de la presa MRG se considera equivalente a la suma de derechos registrados. Cualquier volumen ya concesionado, se sujeta a la disponibilidad de las aguas en el momento que se requiera su La transmisión de derechos de agua, podrá hacerse en forma separada del derecho o propiedad de las tierras, siempre que con ello no se afecte el interés público o los derechos de terceros. En caso de conflictos de intereses se atenderá a propuestas del Consejo de cuenca del río San Juan. Los programas específicos de operación y funcionamiento de los vasos de las presas de almacenamiento y de las fuentes subterráneas se formularán de acuerdo a los almacenamientos al 31 de octubre de cada año; con lo que CNA definirá la</p> <p>El volumen disponible de agua y su distribución territorial atenderá al orden que se establece en sus fuentes de abastecimiento, de acuerdo a los siguientes criterios: La extracción anual de las fuentes subterráneas de la ZMM, asignadas a SADM, será en promedio de 126 Mm³ = 4 m³/s. La Las extracciones de las presas La Boca y Cerro Prieto, se efectuarán en forma integral y racionalmente con el fin de optimar el aprovechamiento y brindar mayor flexibilidad a la operación del sistema hidrológico; para esto: Almacenamiento mínimo de La Boca = 8 Mm³; Cerro Prieto = 68 Mm³; mientras no existan restricciones en ZMM La extracción anual de la presa El Cuchillo, complementara las fuentes anteriores, con un almacenamiento mínimo de 168.5 Mm³, mientras no existan restricciones en la ZMM. Considerará la demanda del DR031, Las Lajas, NL, así como los compromisos con la presa MRG, con una capacidad de extracción de 5 m³/s y 10m³/s en dos etapas, incluidos los 220 l/s para el acueducto regional "China - Los Aldama - Arcabuz" La presa MRG, dispondrá de un almacenamiento mínimo de 96.8 Mm³, cuando la disponibilidad del ciclo agrícola no tenga restricciones. Las disponibilidades de los DR026 y DR031, se informarán mediante los comités Hidráulicos Respectivos. El primero de mayo, en caso de ser necesario, se reprogramará el aprovechamiento.</p> <p>En caso de escasez, se aplicará el artículo 13 de la Ley de Aguas Nacionales. El Consejo de Cuenca llevará a cabo las acciones necesarias para cumplir con los objetivos y alcanzar un equilibrio en tre las Se complementará el Padrón de usuarios y se integrará al REPDA SADM, se compromete al tratamiento de las aguas residuales tratadas de la ZMM, así como de su envío a través de un emisor de 8 m³/s y asegurará un retorno mínimo de 189 Mm³ a MRG, así como a derechos legales de la CRSJ. El emisor será vigilado por los gobiernos estatales de N.L. y Tamps. En caso de que el DR026 no reciba el volumen de agua convenido, se compensará el déficit a los usuarios mediante el siguiente procedimiento: 1. Con datos del 31 de octubre se calcula el déficit, dada una lámina de 80 cm; consiguientemente se calcula la superficie afectada. 2. Se considera una producción perdida de 1 Ton de maíz blanco / ha, y los paqos se harán en febrero y en mayo. La CNA determinará el origen de la fuente de compensación.</p> <p>La CNA realizará un reglamento del área de cpatación de la presa Cerro Prieto, mientras tanto no se autorizan nuevos La extracción de los volúmenes de la presa "El Cuchillo" en sus etapas de operación, se sujetará a: Mientras opere únicamente la primera etapa, si el almacenamiento es mayor a 315 Mm³, se transvasará a MRG; Si opera la segunda etapa (10 m³/s), se transvasará únicamente en el caso de que el almacenamiento sea mayor a 516 Mm³ La CNA efectuará los estudios para ejercer los decretos de veda necesarias. De haber excedentes en las presas Falcón y Amistad, de acuerdo a la CILA, se aprovecharán por medio de la planta de bombeo Anzalduas - Rhode.</p>		

C.1.3 Algunos artículos de la Ley de Aguas Nacionales de Diciembre, 1992

TITULO SEGUNDO: ADMINISTRACIÓN DEL AGUA	
CAPITULO II. EJECUTIVO FEDERAL	
Artículo 6º	<p>Compete al Ejecutivo Federal:</p> <p>II. - Reglamentar el control de la extracción y utilización de las aguas del subsuelo, inclusive las que hayan sido libremente alumbradas, así como de las aguas superficiales, en los términos del Título Quinto de la presente Ley.</p> <p>III. - Establecer distritos de riego cuando implique la expropiación por causa de utilidad pública</p> <p>IV. - Expedir por causas de utilidad pública los decretos de expropiación, de ocupación temporal, total o parcial de los bienes, o la limitación de los derechos de dominio</p>
Artículo 7º	<p>Se declara de utilidad pública:</p> <p>II. - La protección, mejoramiento y conservación de cuencas, acuíferos, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como la infiltración de aguas para reabastecer mantos acuíferos y la derivación de las aguas de una cuenca o región hidrológica hacia otras;</p> <p>IV. - Restablecer el equilibrio hidrológico de las aguas nacionales, superficiales o de subsuelo, incluidas las limitaciones de extracción, las vedas, las reservas y el cambio en el uso del agua para destinarlo al uso doméstico;</p> <p>VII. - La prevención y atención de los efectos de los fenómenos meteorológicos extraordinarios que pongan en peligro las personas o instalaciones.</p>
CAPITULO III. COMISION NACIONAL DEL AGUA	
Artículo 9º	<p>Son atribuciones de la Comisión:</p> <p>I. - Ejercer las atribuciones que conforme a la presente ley corresponden a la autoridad en materia hidráulica, dentro del ámbito de la competencia federal, excepto las que debe ejercer directamente el Ejecutivo.</p> <p>VI. - Programar, estudiar, construir, operar, conservar y mantener las obras hidráulicas federales directamente o a través de contratos o concesiones con terceros, y realizar acciones para el aprovechamiento integral del agua y la conservación de su calidad.</p> <p>VIII. - Conciliar y, en su caso, fungir a petición de los usuarios, como árbitro en la solución de los conflictos relacionados con el agua, en los términos del reglamento de esta ley;</p> <p>IX. - Promover el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso;</p> <p>X. - Ejercer las atribuciones fiscales en materia de administración, determinación, liquidación, cobro, recaudación y fiscalización de las contribuciones y aprovechamientos que se le destinen o en los casos que señalen las leyes respectivas, conforme a lo dispuesto en el Código Fiscal de la Federación.</p>
Artículo 10	<p>El consejo técnico tendrá las siguientes facultades:</p> <p>I. - Conocer y acordar las políticas y medidas que permitan la programación y acción coordinada entre las dependencias de la administración del agua y sobre los ingresos, bienes y recursos de "La Comisión".</p> <p>V. - Acordar la creación de los consejos de cuenca.</p>
CAPITULO IV. CONSEJOS DE CUENCA	
Artículo 13	<p>"La Comisión", previo acuerdo de su Consejo Técnico, establecerá consejos de cuenca que serán instancias de coordinación y concertación entre "La Comisión", las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica, con objeto de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca.</p> <p>"La Comisión" concertará con los usuarios, en el ámbito de los consejos de cuenca, las posibles limitaciones temporales a los derechos existentes para enfrentar situaciones de emergencia, escasez extrema, sobreexplotación o reserva. En estos casos tendrá prioridad el uso doméstico.</p>
TITULO TERCERO: PROGRAMACION HIDRAULICA	
CAPITULO UNICO	
Artículo 15	<p>La formulación, implantación y evaluación de la programación hidráulica comprenderá:</p> <p>V. - La clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo con los usos a que se destinen, y la elaboración de los balances hidráulicos en cantidad y calidad y por cuencas y regiones hidrológicas.</p> <p>VIII. - La programación hidráulica respetará la cuota natural de renovación de las aguas.</p>
TITULO CUARTO: DERECHO DE USO O APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES	
CAPITULO I	
Artículo 16	<p>Son aguas nacionales, las que se enuncian en el párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.</p> <p>El régimen de propiedad nacional de las aguas subsistirá aún cuando las aguas, mediante la construcción de obras, sean desviadas del cauce o vaso originales, se impida su afluencia a ellos o sean objeto de tratamiento.</p> <p>Igualmente, las aguas residuales provenientes del uso de las aguas propiedad de la Nación tendrán el mismo carácter.</p>

Artículo 18	Las aguas nacionales del subsuelo podrán ser libremente alumbradas mediante obras artificiales, excepto cuando el Ejecutivo Federal por causa de interés público reglamente su extracción y utilización, establezca zonas de veda o declare su reserva. Independientemente de lo anterior, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del subsuelo causará las contribuciones fiscales que señale la ley. En las declaraciones fiscales correspondientes se deberá señalar que se encuentra inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua, en los términos de la presente ley.
CAPITULO II. CONCESIONES Y ASIGNACIONES	
Artículo 25	Una vez otorgado el título de concesión o asignación, el concesionario o asignatario tendrá derecho de explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales durante el término de la concesión o asignación, conforme a lo dispuesto en esta ley y su reglamento. El derecho del concesionario o asignatario sólo podrá ser afectado por causas establecidas en la presente ley, debidamente fundamentadas y motivadas.
TITULO QUINTO: ZONAS REGLAMENTADAS, DE VEDA O RESERVA	
CAPITULO UNICO	
Artículo 38	El Ejecutivo Federal, previos los estudios técnicos que al efecto se elaboren y publiquen, conforme a lo dispuesto en el artículo 6º de la presente ley, podrá reglamentar la extracción y utilización de aguas nacionales, establecer zonas de veda o declarar la reserva de aguas en los siguientes casos de interés público: I.- Para prevenir o remediar la sobreexplotación en los acuíferos; II.- Para proteger o restaurar un ecosistema; III.- Para preservar fuentes de agua potable o protegerlas contra la contaminación; IV.- Para preservar y controlar la calidad de agua; o V.- Por escasez o sequía extraordinarias. <u>Los reglamentos, decretos y sus modificaciones se publicarán en el Diario Oficial de la Federación.</u>
Artículo 39	En la reglamentación de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales a que se refiere el artículo 38, el Ejecutivo Federal fijará los volúmenes de extracción y descarga que se podrán autorizar, las modalidades o límites a los derechos de los concesionarios y asignatarios, así como las demás disposiciones especiales que se requieran por igual, en circunstancias de sequías extraordinarias, de sobreexplotación grave de acuíferos o estados similares de necesidad o urgencia por causa de fuerza mayor, el Decreto del Ejecutivo Federal podrá adoptar las medidas que sean necesarias en relación con la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales para enfrentar estas situaciones.
TITULO SEXTO: USOS DEL AGUA	
CAPITULO I. USO PUBLICO URBANO	
Artículo 46	"La Comisión" podrá realizar en forma parcial o total, previa celebración del acuerdo o convenio con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios correspondientes, las obras de captación o almacenamiento, conducción y, en su caso, tratamiento o potabilización para el abastecimiento de agua, con los fondos pertenecientes al erario federal o con los fondos obtenidos con aval o mediante cualquier otra forma de garantía otorgada por la Federación, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos: I.- Que las obras se localicen en más de una entidad federativa, o que tengan usos múltiples de agua, o que sean solicitadas expresamente por los interesados; II.- Que los gobiernos de las entidades federativas y los municipios respectivos participen, en su caso, con fondos e inversiones en la obra a construir, y que se obtenga el financiamiento necesario; III.- Que se garantice la recuperación de la inversión, de conformidad con la legislación fiscal aplicable, y que el usuario o sistema de usuarios se comprometa a y hacer una administración eficiente de los sistemas de agua y a cuidar la calidad de la misma; y IV.- Que en su caso las respectivas entidades federativas y municipios, y sus entidades paraestatales o paramunicipales, o personas morales que a efecto contraten, asuman el compromiso de operar, conservar, mantener y rehabilitar la infraestructura hidráulica. <u>En los acuerdos o convenios respectivos se establecerán los compromisos relativos</u>
Artículo 47	Las descargas de aguas residuales a bienes nacionales o su infiltración en terrenos que puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, se sujetarán a lo dispuesto en el Título Séptimo. "La Comisión" promoverá el aprovechamiento de aguas residuales de los sistemas de agua potable y alcantarillado, que se podrán realizar por los municipios, los organismos operadores o por terceros.
CAPITULO II. USO AGRÍCOLA	
Sección Cuarta. Distritos de Riego	
Artículo 65	Los distritos de riego serán administrados, operados, conservados y mantenidos por los usuarios de los mismos, organizados en los términos del artículo 51 o por quien éstos designen, para lo cual "La Comisión" concesionará el agua y en su caso, la infraestructura pública necesaria a las personas morales que éstos constituyan al efecto.
Artículo 66	En cada distrito de riego se establecerá un comité hidráulico, cuya organización y operación se determinarán en el reglamento de cada distrito, el cual actuará como órgano colegiado de concertación para un manejo adecuado del agua e infraestructura. El comité hidráulico propondrá un reglamento del distrito de riego respectivo y vigilará su cumplimiento. El reglamento no podrá contravenir lo dispuesto en la concesión y se someterá a sanción de "La Comisión".

Artículo 69	En ciclos agrícolas en los que por causas de fuerza mayor el agua sea insuficiente para atender la demanda del distrito de riego, la distribución de las aguas disponibles se hará en los términos que se señalen en el reglamento del distrito.
Artículo 74	La indemnización que proceda por la expropiación de las tierras se cubrirá en efectivo. A solicitud del afectado por las obras públicas federales, la indemnización se podrá cubrir mediante compensación en especie por un valor equivalente de tierras de riego por cada uno de los afectados, en los términos de ley, y el resto de la indemnización, si la hubiere, se cubrirá en efectivo. "La Comisión", en su caso, en coordinación con las autoridades competentes proveyerá y apoyará el establecimiento de los poblados necesarios para compensar los bienes afectados por la construcción de las obras.
Sección Quinta. Drenaje Agrícola.	
Artículo 76	El Ejecutivo Federal, por conducto de "La Comisión" y con la participación de los productores, promoverá y fomentará el establecimiento de unidades de drenaje a efecto de incrementar la producción agropecuaria. El acuerdo de creación de la unidad de drenaje se publicará en el Diario Oficial de la Federación. En dicho acuerdo se señalará el perímetro que la delimite, la descripción de las obras y los derechos y obligaciones de los beneficiarios por los servicios que se presten con dichas obras.
TITULO SEPTIMO: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION	
CAPITULO UNICO	
Artículo 86	"La Comisión" tendrá a su cargo: I.- Promover y en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga, en los términos de ley; III.- Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas diferentemente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente; V.- Vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad del agua emitidas para tal efecto;
Artículo 91	La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan.
TITULO OCTAVO: INVERSION EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	
CAPITULO 1. DISPOSICIONES GENERALES	
Artículo 99	"La Comisión" proporcionará a solicitud de los inversionistas, concesionarios o asignatarios, los apoyos y la asistencia técnica para la adecuada construcción, operación, conservación, mejoramiento y modernización de las obras hidráulicas y los servicios para su operación. "La Comisión" proporcionará igualmente los apoyos y la asistencia técnica que le soliciten para la adecuada operación, mejoramiento y modernización de los servicios hidráulicos para su desarrollo autosostenido, mediante programas específicos que incluyan el manejo eficiente y la conservación del agua y el suelo, en colaboración con las organizaciones de usuarios.
Artículo 100	"La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente o pongan en peligro la vida de las personas y la seguridad de sus bienes.
TITULO NOVENO: BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISION"	
CAPITULO UNICO.	
Artículo 113	La administración de los siguientes bienes nacionales queda a cargo de "La Comisión": ... VII. - Las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el Gobierno Federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, en la extensión que en cada caso fije "La Comisión". En los casos de las fracciones IV, V y VII la administración de los bienes, cuando corresponda, se llevará a cabo en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad.
Artículo 119	"La Comisión" sancionará, conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas: I. Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la VI.- No acondicionar las obras o instalaciones en los términos establecidos en los reglamentos o en las demás normas o disposiciones que dicte la autoridad competente para prevenir efectos negativos a terceros o al desarrollo hidráulico de las fuentes de abastecimiento o de la cuenca;

C.2 SÍNTESIS DE ESTUDIOS PREVIOS

Ante la problemática relacionada con el manejo del agua en la zona de estudio, durante los años precedentes la Comisión Nacional del Agua realizó múltiples estudios de factibilidad, fundamentales en la planeación hidráulica de la Cuenca del Río San Juan, mismos que se describen a continuación.

Cuadro C. 1. Síntesis de estudios previos realizados para la Comisión Nacional del Agua

Año	Estudio	Objetivos - resumen -
1988	Estudio de Fuentes de Abastecimiento, Monterrey	Evaluación de alternativas de abastecimiento futuro para la ZMM: Pílon, Ramos, Cuchillo, San Fernando y Soto La Marina
1989	Estudio hidrológico definitivo del proyecto El Cuchillo, para suministro de agua a la Ciudad de Monterrey, N. L.	Evaluación del impacto hidrológico de la Presa El Cuchillo
1990	Estudio del aprovechamiento de la cuenca del río Soto La Marina, para abastecimiento de agua a Monterrey, N. L.	Evaluación del impacto hidrológico de la importación de aguas a la ZMM desde la presa Vicente Guerrero
1992	Balance Hidráulico y Políticas de Operación del Sistema Regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan	Elementos de juicio que faciliten la concertación de acciones, favorezcan la equidad y el respeto de los convenios, derechos y prioridades en materia del aprovechamiento hidráulico

C.2.1 Estudio de fuentes de abastecimiento para Monterrey

En dicho estudio, se analizan diversas alternativas de aprovechamiento de los principales afluentes de la Cuenca del Río San Juan, hasta la confluencia de los ríos San Juan y Pesquería. En todos los casos, los aprovechamientos propuestos, son excluyentes e interfieren entre sí, además de afectar a diferentes usuarios agrícolas, por lo que en cada caso se propuso una compensación por medio del suministro de las aguas residuales tratadas de la ZMM, con la construcción de la infraestructura de tratamiento y conducción para esos fines.

Cuadro C. 2. Características de las obras identificadas en estudios previos¹

De / a	Gasto (m ³ / s)	Diámetro (m)	Longitud total (km)	Longitud de bombeo (km)	Longitud por gravedad (km)	Diferencia de niveles (m)	Carga Dinámica (m)
Monterrey / Montemorelos	5.0	2.10	115.5	12.5	103.0	270.0	120
Falcón / Monterrey *	10.0	2.10	161.4	161.4	--	435.0	560
Cuchillo / Monterrey *	10.0	2.10	102.0	102.0	--	406.0	485
V. Guerrero / Cerro Prieto	2.0	1.52	104.0	104.0	46.0	195.0	337
V. Guerrero / Monterrey	2.0	1.40	179.4	179.4	87.6	459.0	727
Terreros / ALM	2.4	2.10	10.0	10.0	--	8.0	10

ALM = Acueducto Linares – Monterrey

- Dos tuberías

Las capacidades de extracción propuestas para cada fuente, fueron: en el río Pílon, de 4.5 m³/s; arroyos Blanquillo y Ramos con capacidad conjunta de 1.6 m³/s; Río San Juan, junto a estación hidrométrica China (presa El Cuchillo) ofrecía hasta 10 m³/s. Se observó que Cerro Prieto, desde la cuenca del río Pablillo brindaba en promedio 2.1 m³/s. Otra alternativa analizada por el estudio, fue el cambio de las políticas de operación de las presas La Amistad y Falcón, para aprovechar aguas del río Bravo y bombearlas hacia la ZMM, con la compensación con aguas residuales para

¹ Del estudio de fuentes de abastecimiento, Monterrey. COINPRO.

los usuarios agrícolas del DR025, Bajo Bravo. El volumen aprovechable de esta opción, para la ZMM, se estimó en 10 m³/s. La opción del Cuchillo representó el menor costo por metro cúbico, por lo cual posteriormente se estudió con mayor detalle.

C.2.2 Estudio hidrológico definitivo del proyecto El Cuchillo, para suministro de agua a la Ciudad de Monterrey

Por medio de este se determinaron diferentes alternativas para efectuar el proyecto El Cuchillo, complementado con obras auxiliares que optimizan el abastecimiento al interactuar con las presas La Boca y Cerro Prieto, además de obras complementarias para restituir el agua necesaria para la agricultura al Distrito de Riego 026, Bajo San Juan y para asegurar el abastecimiento del DR031, Las Lajas.

C.2.3 Estudio del aprovechamiento de la cuenca del río Soto La Marina, para abastecimiento de agua a Monterrey, N. L.

El análisis de la Cuenca del Río Soto La Marina determinó un gasto firme transferible desde 2 m³/s sin afectación alguna², hasta 9 m³/s desde la presa Vicente Guerrero, que dependerían de la reducción de la demanda de agua para fines agrícolas, por medio de incrementos en la eficiencia y con el aprovechamiento de filtraciones de la presa Vicente Guerrero – también llamada: La Patria es Primero -. Aguas arriba de la presa se identificaron dos sitios con disponibilidad de hasta 2.6 m³/s, pero en los cuales se observó una inconformidad en los usuarios agrícolas que podría originar conflictos sociales. Cabe mencionar, además, que el estado de Tamaulipas tiene proyectos que dependen de dichas aguas para su desarrollo, y que tanto, Ciudad Victoria, como el Distrito de Riego Soto La Marina; aprovechan casi su totalidad.

C.2.4 Estudio de Balance Hidráulico y Políticas de Operación del Sistema Regional de los Ríos Bajo Bravo y San Juan

Este analizó el sistema hidrológico de dicha zona para establecer las condiciones de operación necesarias para un aprovechamiento óptimo del agua ante la presa El Cuchillo y sus obras complementarias de manejo de aguas residuales.

² Esta alternativa se conjuga con el sistema Linares Monterrey, de modo que el caudal en el acueducto se incrementaría en promedio, desde 2.1 m³/s hasta 4.1 m³/s. El nuevo acueducto mediría aproximadamente 150 km.

Figura C. 1. Alternativas de transferencia para el suministro de agua a la Z. M. de Monterrey, estudiadas en 1988: a) Presas El Tunal y Raíces; b) Presa Terreros; c) Presa Falcón

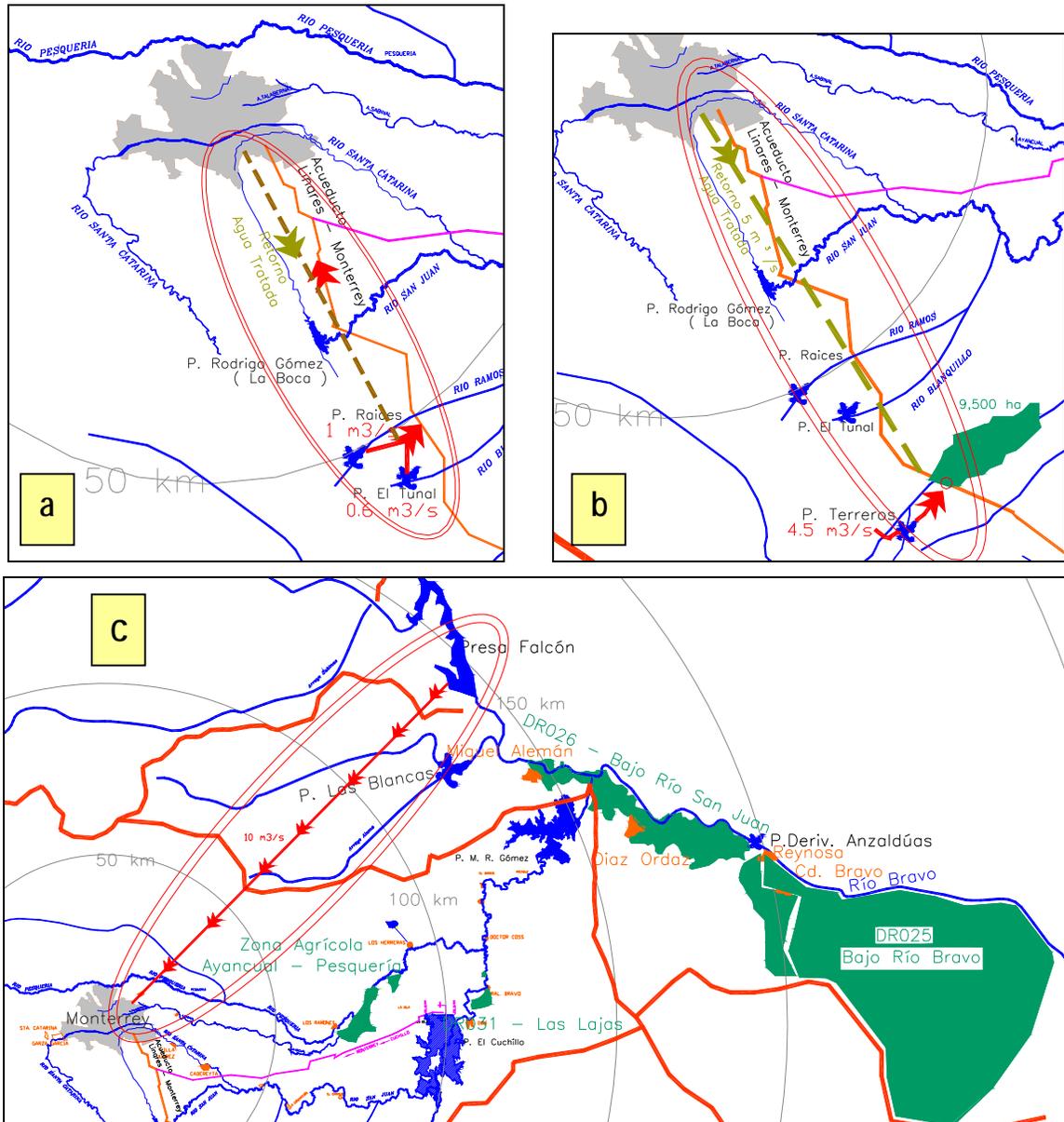


Figura C. 2. Sistema El Cuchillo – Monterrey, propuesto para el suministro de 10 m³/s

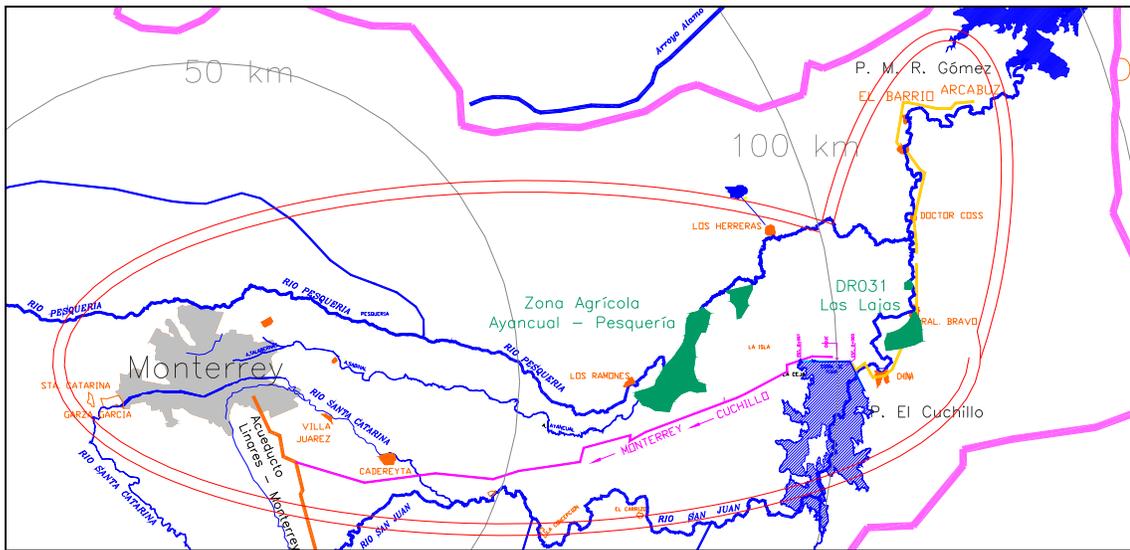


Figura C. 3. Alternativa de importación de agua desde la cuenca del río Soto La Marina, presas Vicente Guerrero, Real de Borbón y Pedro J. Méndez

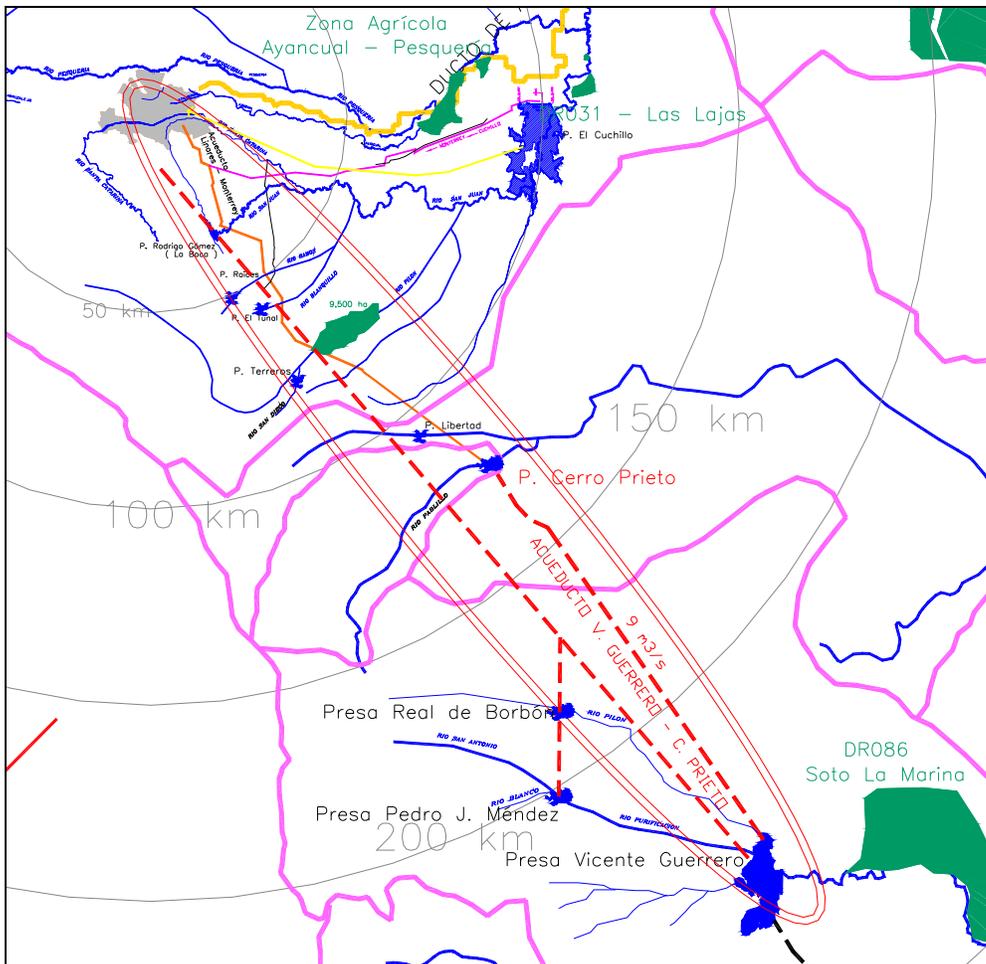
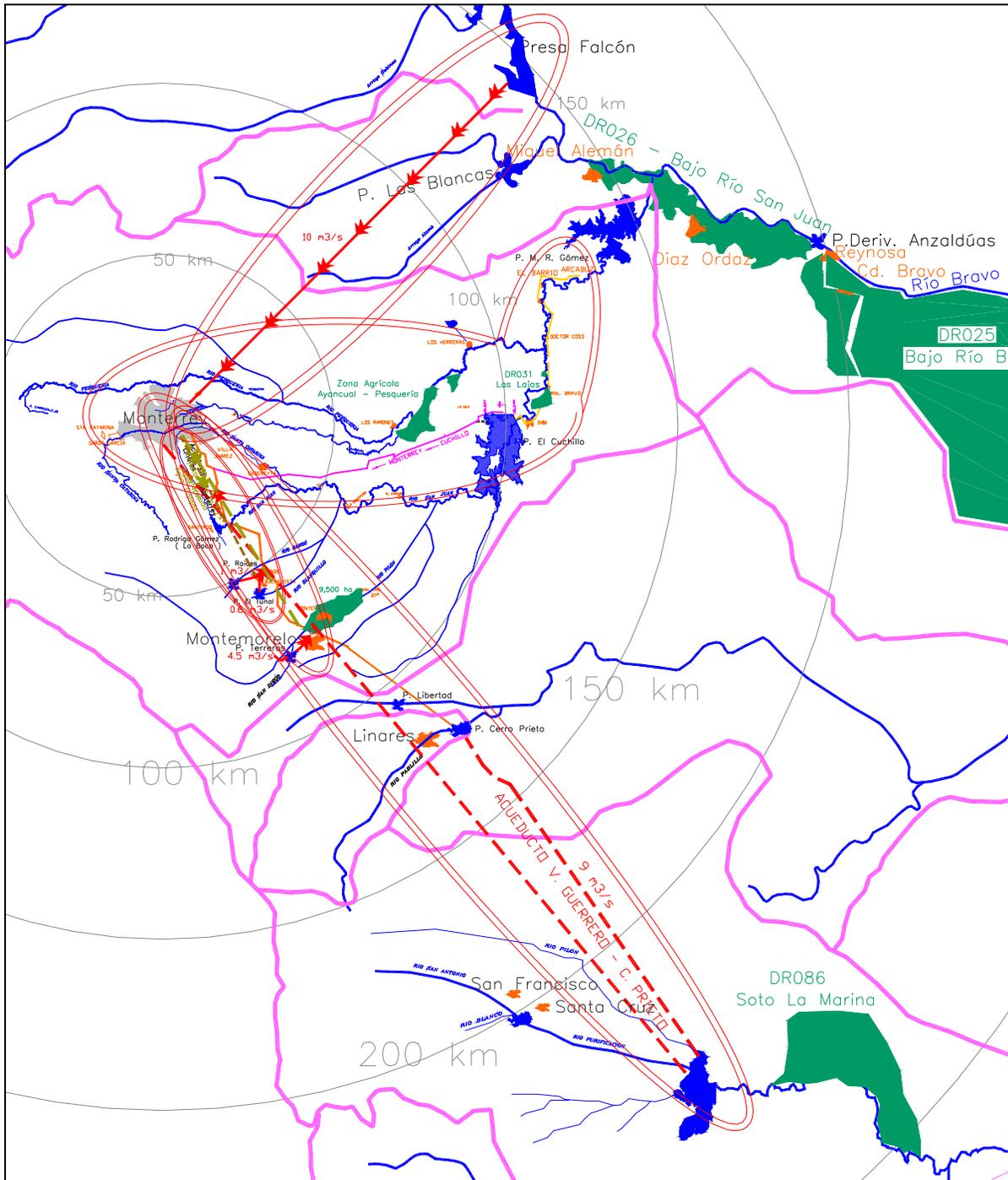


Figura C. 4. Conjunto de alternativas de transferencia para el suministro de agua a la ZMM, estudiadas en 1985



Cuadro C. 3. Algunas conclusiones y recomendaciones del estudio de Balance Hidráulico y Políticas de operación del Sistema Regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan

Balance Hidráulico y Políticas de Operación del Sistema Regional de los ríos Bajo Bravo y San Juan		1992
Conclusiones	Recomendaciones	
Existe una sobreexplotación de los recursos subterráneos en el colector principal del Alto y Medio Río Bravo y en el Río San Juan.	La extracción de la presa Marte R. Gómez debe ser constante y equivalente a 350 millones de metros cúbicos anuales.	
Actualmente hay una explotación deficiente de recursos hidráulicos superficiales.	Las extracciones de la presa El Cuchillo no deben exceder anualmente y en promedio, los 5 o los 10 metros cúbicos por segundo de cada etapa.	
El caudal del Río Conchos se encuentra comprometido con los Estados Unidos y con el distrito de riego del Bajo Bravo.	Las extracciones desde la presa La Boca y Cerro Prieto, deben ser las máximas posibles.	
En la cuenca del Río San Juan, los escurrimientos son aprovechados en su totalidad y se presentan conflictos por el uso del agua que se agravarán a falta de un ordenamiento y regulación de los aprovechamientos existentes.	En los dos casos anteriores, debe mantenerse un almacenamiento mínimo que de seguridad equivalente a dos meses de abasto, fijo al menos en época de estiaje.	
Las opciones de suministro en el futuro próximo, serán recurrir al reuso del agua y a fuentes cada vez mas lejanas, por consiguiente mas costosas.	Debe asegurarse un retorno mínimo del 60% del gasto que desde Cuchillo se envíe a la ZMM.	
En la región, el déficit de agua pone en peligro, principalmente el desarrollo hidroagrícola.	Las extracciones de la presa Falcón deben corresponder exactamente a las demandas de riego de aguas abajo con sus respectivas pérdidas. Debe contarse con información confiable y expedita sobre predicción de lluvias con el objeto de programar adecuadamente el suministro desde la presa Falcón, para el D.R. Bajo Bravo.	
“ ... Según los resultados, al aceptar la posibilidad de que los retornos de agua de Monterrey al Río San Juan, sean del orden del 60% y que las demandas de agua para riego de la presa Marte R. Gómez para el D.R. Bajo San Juan sean de unos 350 millones de metros cúbicos por año (promedio de la demanda agrícola por gravedad de los últimos 10 años), no habrá un	Los bombeos de Anzaldúas al Rhode solamente deben realizarse cuando no sea posible extraer los 350 millones de metros cúbicos desde la presa Marte R. Gómez, considerando la restricción en elevación que impone el suministro de la zona que recibe agua por medio del canal San Pedro.	
No es claro cómo se decide la utilización de la planta de bombeo Anzaldúas-Rhode. En algunas ocasiones se utiliza a pesar de contar con un almacenamiento importante en la presa Marte R. Gómez.		
La decisión de cuánta agua se extrae de la presa debería depender del almacenamiento disponible justo antes del inicio del ciclo agrícola. Existe una relación estrecha entre el almacenamiento y el programa de extracción. Parecería conveniente tratar una extracción constante, aprovechando la capacidad de regulación del vaso. Además esto permitiría una mayor certidumbre en el aprovechamiento de insumos y maquinaria agrícolas, y por lo tanto se propiciaría un nivel de producción más uniforme y económico.		
Se concluye que existen aún medios de optimar algunos excedentes observados en el río Bravo.		
Para mantener el equilibrio necesario en el tratado internacional, debe evitarse el desarrollo de nuevos aprovechamientos en las cuencas involucradas en el tratado ; principalmente en la del Conchos, que aporta prácticamente dos terceras partes del volumen comprometido en el tratado.		
Se recomienda analizar el futuro aprovechamiento de las aguas del Río Álamo.		

La reducida disponibilidad de agua que amenaza a esta Ciudad y a sus alrededores, dificulta el hallazgo de fuentes cercanas de abastecimiento e inclusive de mediano o largo alcance (se analizan importaciones desde distancias mayores a los 400 km).

Este expediente evaluó más de 25 proyectos, de los cuales diez proyectos para aprovechar agua subterránea, se descartaron. Algunas de las opciones que actualmente se descartan, podrían resultar atractivas en el futuro.

Al menos trece de los proyectos propuestos, principalmente los de aprovechamiento de agua subterránea, consideran el transporte del líquido a través del acueducto de Linares – Monterrey, con el uso de su capacidad actual de conducción, que es holgada.

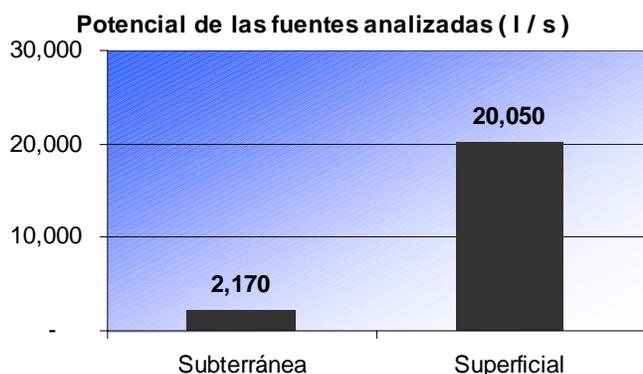
Dentro de sus alcances, el PIAAPAMM evalúa las afectaciones que puede producir cada proyecto, así como aspectos socioeconómicos determinantes.

A continuación se describe un resumen de las características de los proyectos que involucra, sus costos, sus características generales y su localización.

Cuadro C. 4. Descripción de alternativas del PIAAPAMM para aprovechar nuevas fuentes

Perfiles de los proyectos de las nuevas fuentes de aguas subterráneas								Conducción \$/ m ³ Dic / 99	
Cve	Proyecto	Ubicación	Capacidad (l / s)	Inversión (Millones de pesos)	Captación	Bombeo	Conducción	Sin indemnización	Con indemnización
1	Subálveo La Unión General Terán	12 km al NE de Gral. Terán	500	131	Pozo radial	1 bombeo y 2 rebombes	30", 35 km	1.9	2.33
2	Manantiales del río Pilón	3.5 km al SO de Montemorelos	300	5	Pozo radial	1 planta de bombeo	250 m	0.28	0.65
3	Subálveo río Conchos	8 km al NO de Cerro Prieto	500	34	Galería filtrante	1 planta de bombeo	30", 9 km	0.49	0.56
4	Túnel San Francisco II	5 km al SO de San Francisco	320	56	Túnel en calizas	No requiere	20", 2.5 km	0.79	0.79
5	Campo de pozos El Pajonal	26 km al SE de Monterrey	300	74	Pozo profundo 2,000 m	Para exploración	exploración	1.72	1.72
6	Congregación Calles	2 km al EN de Cong. Calles	250	11	4 pozos someros	4 equipamientos de pozo.	251 km	0.46	0.5

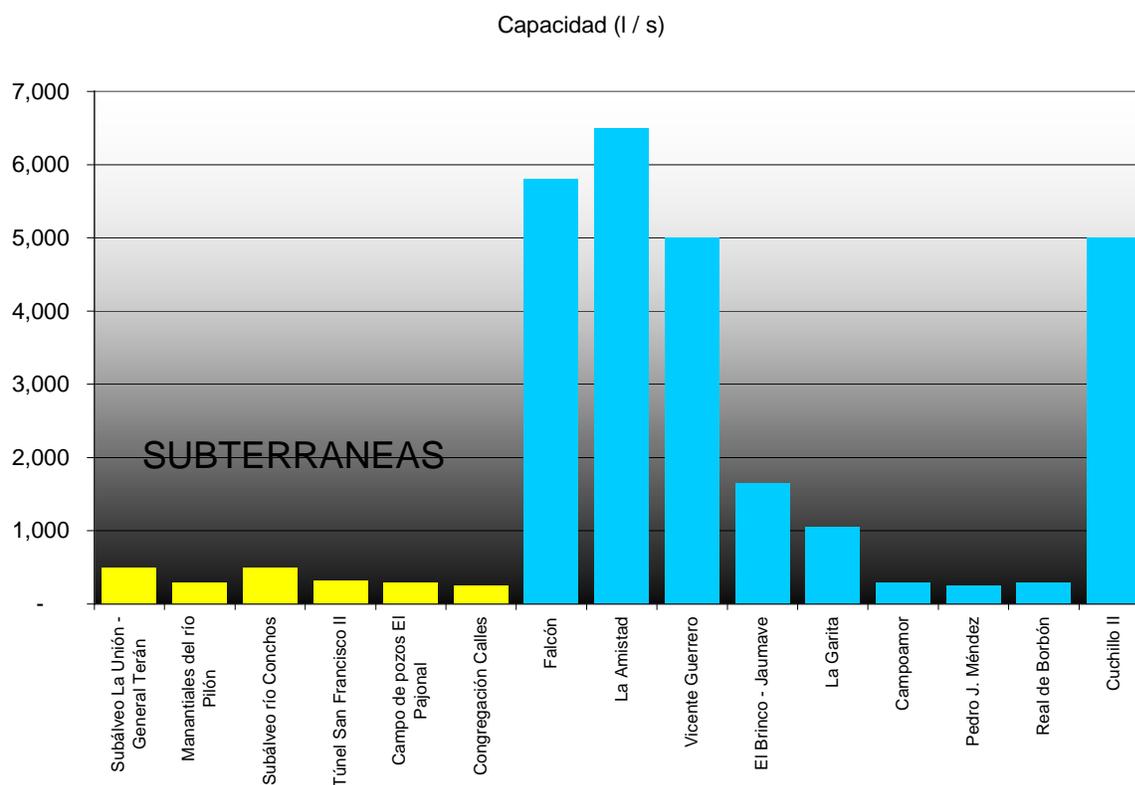
Perfiles de los proyectos de las nuevas fuentes de aguas superficiales								Conducción \$/ m ³ Dic / 99		
Proyecto	Ubicación	Gasto aprovechable Gasto de diseño (l/s)	Inversión (Millones de pesos)	Captación	Bombeo	Conducción	Sin indemnización	Con indemnización		
7	Falcón	138 km al NE del AMM	5800	5800	1961	Río Bravo	HT 447 m	Ac 84"	2.42	2.44
8	La Amistad	450 km al NO de Monterrey	6500	6500	3728	Río Bravo	HT 720 m	Ac 48", 60", 72"	3.76	3.79
9	Vicente Guerrero	250 km al SE de Monterrey, N. L.	5000	5000	2014	Río Soto La Marina	HT 223 m	Ac 48", 60", 72"	2.241	2.291
10	El Brinco - Jaumave	345 km al Sur de Monterrey	1650	5000	4177	Río Guayalejo	gravedad	84", 96"	11.075	11.126
11	La Garita	215 km al Sur de Monterrey, N. L.	1050	6600	2851	Ríos Purificación y Antonio	HT 89.5 m	Ac 60", 72"	12.708	12.758
12	Campoamor	190 km al SE de Monterrey	300	2600	684	Río Pilón	gravedad	60" 50.25 km	9.982	10.032
13	Pedro J. Méndez	225 km al Sur de Monterrey	250	2000	592	Río San Juan	gravedad	42" a 48"	10.357	10.408
14	Real de Borbón	195 km al SE de Monterrey	300	2600	691	Río Pilón	gravedad	48" a 60"	7.392	7.442
15	Cuchillo II	120 km al Oriente de Monterrey	5000	5000	1832	Río San Juan	1 bombeo y 5 rebombes HT = 544 m	Ac 84"	2.47	2.53



El potencial de las 15 alternativas que se consideran factibles hasta ahora, asciende a un gasto de diseño del orden de 22 m³/s.

El análisis de costos contempla daños por afectaciones, aunque únicamente su efecto económico, pues las restricciones sociales, legales o de otras índoles, podrían por sí solas anular la viabilidad de las alternativas que entran en conflicto.

Figura C. 6. Gasto aprovechable de las opciones de abastecimiento de agua para la ZMM



Las fuentes de agua subterránea únicamente ofrecen un gasto firme de 2.37 m³/s, pero su ventaja, es que su costo es mucho menor a las fuentes de agua superficial. El promedio ponderado de las fuentes subterráneas, es de \$1.17 / m³, mientras que el de las superficiales, de \$3.96 / m³ (pesos de Diciembre de 2000).

Dado que el proyecto El Cuchillo resulta la opción que involucra mayor volumen de oferta, menor costo unitario e inclusive una menor problemática que la transferencia desde la Presa Vicente Guerrero, resulta ser el proyecto elegido, que se encuentra en proceso.

Figura C. 7. Costo por metro cúbico de las opciones de abastecimiento del PIAAPAMM

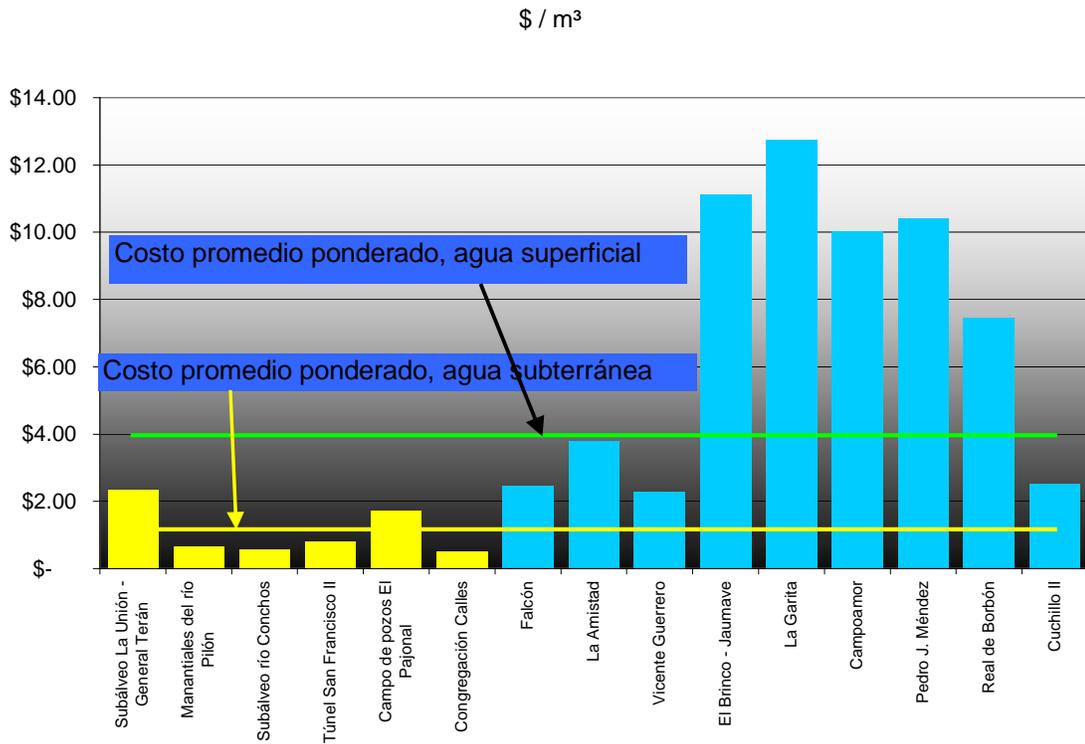
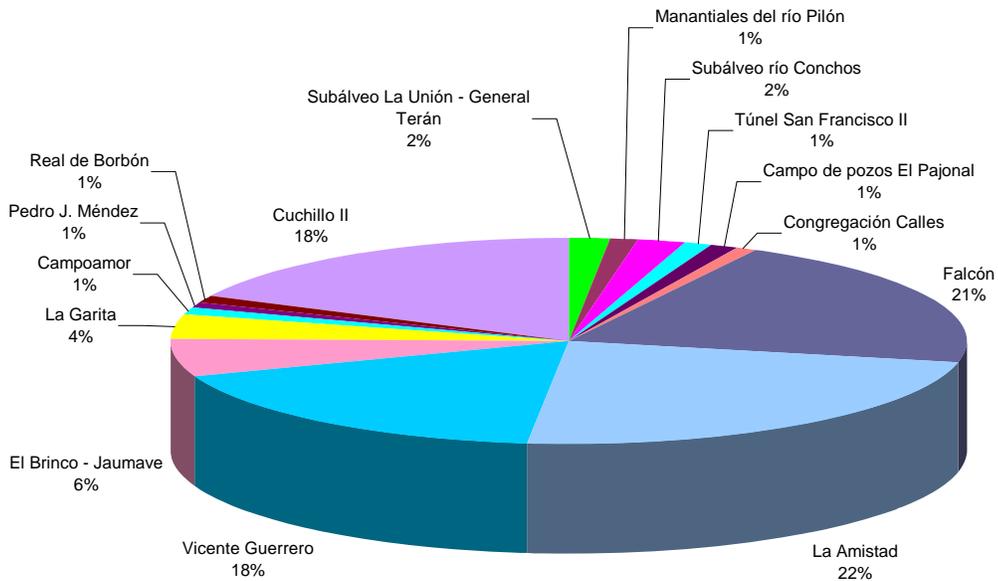


Figura C. 8. Porcentaje de oferta total de agua que representan las alternativas del PIAAPAMM



Las siguientes figuras muestran la ubicación de las 15 alternativas descritas.

Figura C. 9. Fuentes subterráneas factibles según análisis a 1999, PIAAPAMM

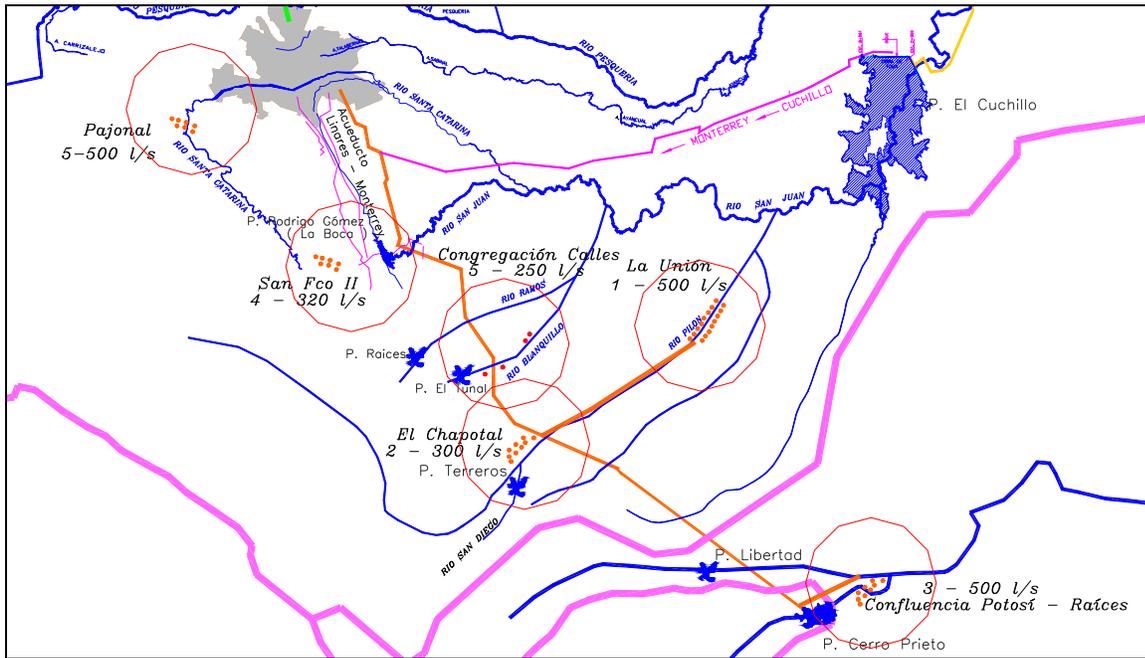


Figura C. 10. Fuentes de agua superficial: a) Río Guayalejo, b) Río Bravo – Falcón

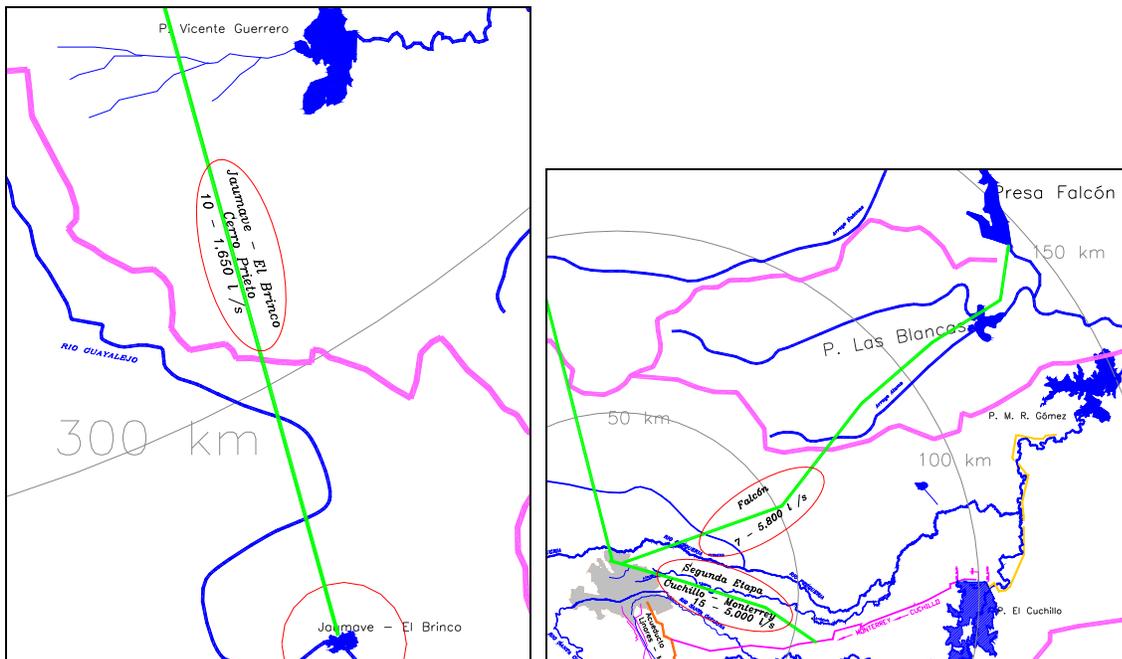


Figura C. 11. Alternativas de aprovechamiento de agua superficial ubicadas al sur de la Zona Metropolitana de Monterrey

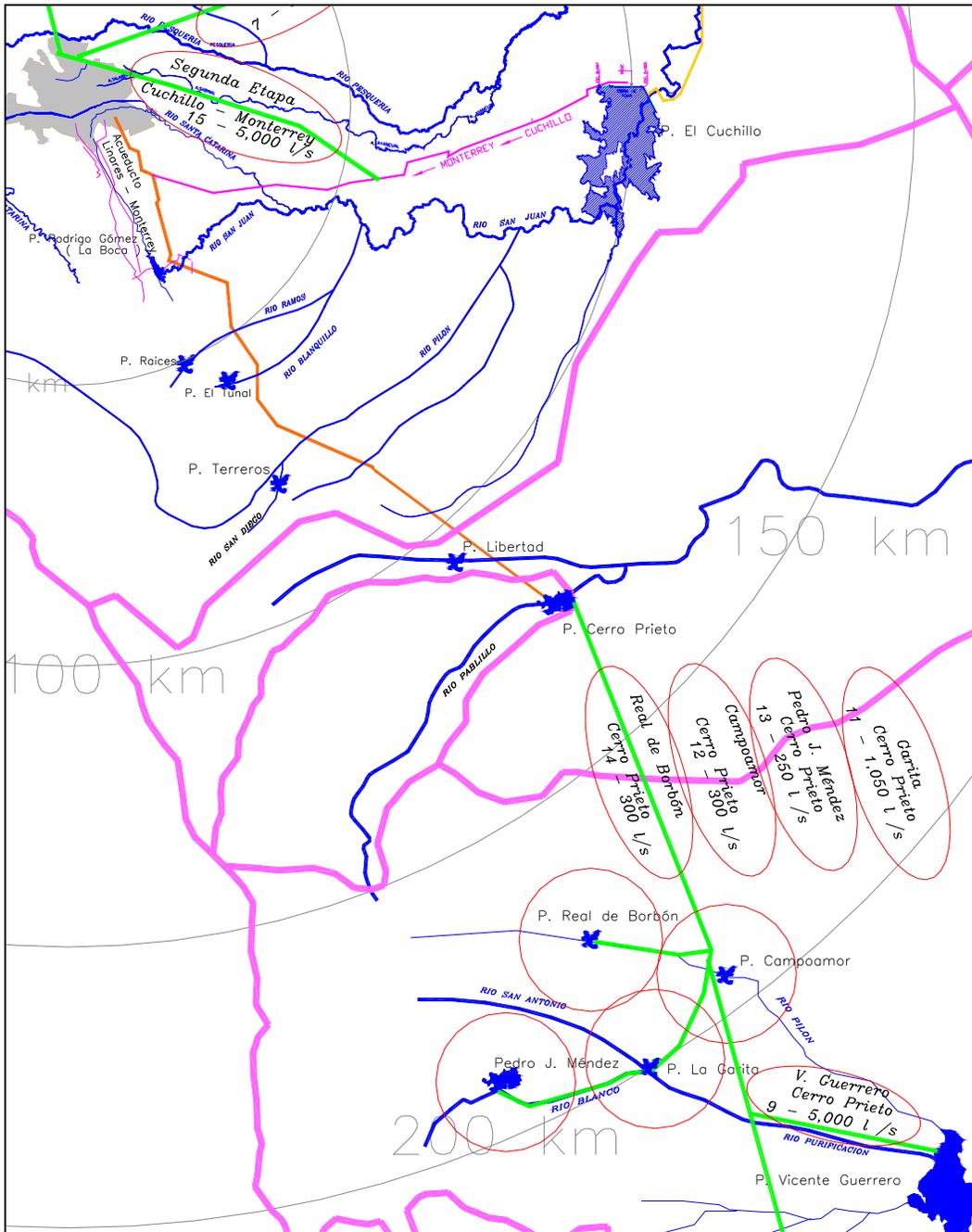
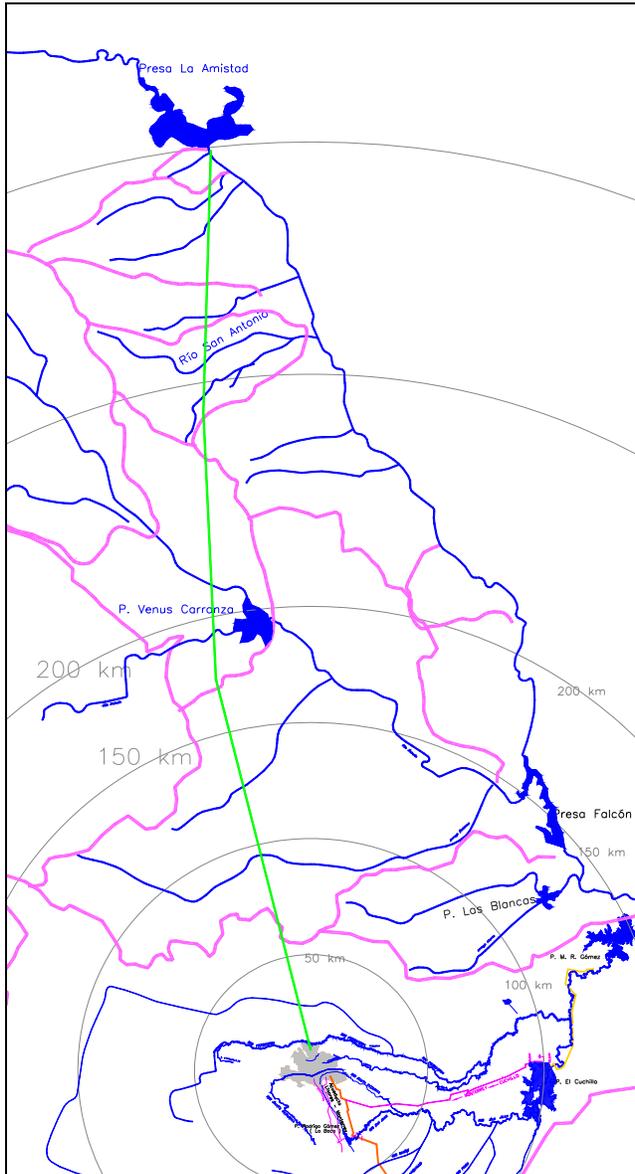


Figura C. 12. Alternativa de aprovechamiento del río Bravo con importación desde la presa Amistad



ANEXO D. EVALUACION DEL COSTO DE LAS ALTERNATIVAS

INDICE TEMATICO

<i>Anexo D. Evaluación del costo de las alternativas</i>	179
<i>D. 1. Catalogo de costos incluidos en estudios previos</i>	179
<i>D. 2. Conceptos básicos para comparar el costo de las alternativas</i>	180
<i>D. 2. 1. Expresiones matemáticas para el cálculo del valor del dinero a través del tiempo</i>	180
<i>D. 2. 2. Valores supuestos para el cálculo del costo de las acciones sobre la demanda en zonas agrícolas</i>	183
<i>D. 2. 3. Valores supuestos para el cálculo del costo de los proyectos de transferencia de agua</i>	189

INDICE DE CUADROS

Cuadro D. 1. Catálogo simplificado de precios unitarios para cotización de los proyectos	179
Cuadro D. 2. Montos de inversión para las opciones descritas en estudios previos	179
Cuadro D. 3. Parámetros considerados para el cálculo del costo de las acciones sobre la demanda	183
Cuadro D. 4. Costo aproximado de las acciones sobre la demanda en el Distrito de Riego 026	184
Cuadro D. 5. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda en el Distrito de Riego 031, Las Lajas	185
Cuadro D. 6. Análisis de costos unitarios de las acciones sobre la demanda y beneficios en la zona agrícola de las subcuencas de los ríos Pílon, Ramos y Blanquillo	186
Cuadro D. 7. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda en la zona agrícola ubicada en las márgenes de los arroyos Ayancual y Pesquería	187
Cuadro D. 8. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda, propuestas para la zona agrícola de Saltillo	188
Cuadro D. 9. Distancia lineal entre las fuentes de abastecimiento y los centros de demanda.	189
Cuadro D. 10. Parámetros simplificados para el dimensionamiento de las obras	190
Cuadro D. 11. Localización de los principales centros de demanda de la Zona de Estudio	190
Cuadro D. 12. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas	191
Cuadro D. 13. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas	192
Cuadro D. 14. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)	193
Cuadro D. 15. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)	194
Cuadro D. 16. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)	195
Cuadro D. 17. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)	196

Cuadro D. 18. Catálogo de costos unitarios _____ 196

Anexo D. EVALUACIÓN DEL COSTO DE LAS ALTERNATIVAS

Mediante criterios simplificados, se efectuó un análisis de costos para comparar las alternativas entre sí.

Con el fin de comparar el costo de las distintas opciones para el aprovechamiento hidráulico, se recurrió a diversas hipótesis simplificativas.

Los costos y los impactos económicos de las acciones, sujetos a un entorno socioeconómico cambiante, interactúan en forma impredecible.

Se dio prioridad a los resultados obtenidos en estudios previos. Posteriormente, tanto para las acciones de dichos estudios como para las omitidas por los mismos, se calcularon los costos mediante catálogos de costos índice (CNA, 1999) y otros criterios. Se confirmó la aplicabilidad de los criterios al comparar la similitud de sus resultados, con los de los estudios previos.

D. 1. CATALOGO DE COSTOS INCLUIDOS EN ESTUDIOS PREVIOS

Para proponer los costos de las obras no presupuestadas en los estudios previos se recurrió parcialmente a los siguientes costos, obtenidos de los mismos¹:

Cuadro D. 1. Catálogo simplificado de precios unitarios para cotización de los proyectos

Concepto		Unidad	Precio unitario	
Tubería de concreto				
55"	Suministro	ml	\$694.40	
	Instalación	ml	\$376.56	
60"	Suministro	ml	\$843.80	
	Instalación	ml	\$419.78	
72"	Suministro	ml	\$943.70	
	Instalación	ml	\$504.82	
84"	Suministro	ml	\$1,600.90	
	Instalación	ml	\$665.57	
Plantas de bombeo		HP	\$1,615.00	
Excavación				
En roca		m ³	\$20.00	
En material común		m ³	\$3.00	
Tanque superficial		m ³	\$173.00	
Terracerías para presas (arcillas, materiales graduados, tierra, etcétera.)		m ³	\$20.00	
Camino de construcción y operación		km	\$52,400.00	
Concreto armado y colocado		m ³	\$550.00	
Colectores y emisores en Monterrey		lote	\$50,000,000.00	
Planta potabilizadora		Planta	\$32,880,000.00	6 m ³ /s
Planta de tratamiento de efluente		Planta	\$100,000,000.00	5 m ³ /s

Cuadro D. 2. Montos de inversión para las opciones descritas en estudios previos

¹ Conducciones de concreto presforzado, excepto ante cargas mayores a 100 m para diámetros de 36 a 72 pulgadas y ante cargas mayores a 120 m, para diámetros mayores; casos en los cuales se usaría tubería de acero; El costo de las plantas de bombeo y el equipamiento con subestación eléctrica resulta de \$1,6151 / HP (1999) y el costo medio anual por energía para bombeo fue de 0.42 \$/m³/m de carga.

Los canales de conducción de agua tratada, implican una excavación de 60% en roca y de 40% en material común, con costos respectivos de \$20 y \$3 por m³, además de una sección de camino con costo de \$52,420/km.

Las presas se calcularon con un costo de \$20/m³ de volumen de la cortina.

La potabilización se consideró con un costo anual de 0.07 \$/m³.

El sistema de tratamiento de aguas negras a nivel primario, se estimó con un costo índice de \$20,000 / m³ / s, con un costo anual de operación, de 0.02 \$/m³.

Alternativa	Inversión estimada (en millones de pesos)	Costo en \$ / m ³		
		Inversión	Operación	Total
Intercambio de aguas (Terrerros – Monterrey)	490	1.08	0.26	1.34
Sistema Falcón – La Amistad	950	0.70	0.30	1.00
Vicente Guerrero				
Hasta Cerro Prieto	220	0.65	0.33	0.98
Hasta Monterrey	350	1.10	0.37	1.47
El Cuchillo	740	0.50	0.27	0.77

Duración de las obras:

- Presas. 3 años, excepto el Cuchillo (4 años).
- Acueductos: Vicente Guerrero – Monterrey, cuatro años; Falcón – Monterrey, en tres años; acueductos V. Gro. – C. Prieto y Cuchillo – Monterrey (2 años).
- Canales para riego y acueductos menores: 1 año.
- Plantas de tratamiento: 1 año.
- Las inversiones se realizan en anualidades de igual proporción durante el período de construcción. La tasa efectiva de descuento utilizada es del 15% anual y el período de amortización de las obras es de 20 años.²

Los conceptos considerados fueron principalmente de las conducciones entre cada una de las fuentes de abastecimiento y los centros de demanda, así como la infraestructura hidráulica necesaria para cada opción de suministro: presas, plantas de bombeo, conducciones a presión y por gravedad, sistemas de tratamiento de aguas, potabilización y sistemas de intercambio de aguas claras por aguas tratadas para su uso en riego.

D. 2. CONCEPTOS BÁSICOS PARA COMPARAR EL COSTO DE LAS ALTERNATIVAS

Para comparar dos alternativas y determinar cuál es la más conveniente, es importante la definición de un valor común de comparación; en este caso las unidades monetarias. Mediante estas unidades, es posible evaluar alternativas de diversos tipos.

Debido a que la evaluación de las alternativas suele hacerse para un período de tiempo, cada valor debe analizarse según su monto y la fecha.

El valor del dinero en el tiempo varía, según la voluntad social de pagar interés por usar el dinero. De tal forma, el dinero en distintos períodos no puede combinarse o compararse, sino que debe hallarse un valor equivalente mediante factores de descuento, que convierten el valor monetario de una fecha, a un valor equivalente de otra.

A continuación, se describe un conjunto de expresiones auxiliares para el cálculo del valor del dinero a través del tiempo, posteriormente, se presentan los resultados calculados en la comparación de proyectos de transferencia de agua.

D. 2. 1. Expresiones matemáticas para el cálculo del valor del dinero a través del tiempo

i = Tasa anual de interés.

² Para mayor detalle, es recomendable la consulta de el Estudio de Fuentes de Abastecimiento para la Ciudad de Monterrey.

n = Número de años.

P = Valor presente del dinero.

F = Cantidad futura de dinero.

A = Monto anual de dinero.

Factores de pago simple (un solo pago a cierto período de tiempo)

$$FPP \rightarrow \frac{F}{P} = (1+i)^n = \left(\frac{F}{P}, i\%, n \right) \quad \text{Factor de monto compuesto, } P=1\$, F=?$$

$$PF \rightarrow \frac{P}{F} = \frac{1}{(1+i)^n} = \left(\frac{P}{F}, i\%, n \right) \quad \text{Factor de valor presente, } F=1\$, P=?$$

Factores de series anuales uniformes (varias anualidades del mismo monto, i = cte)

$$AF \rightarrow \frac{A}{F} = \frac{i}{(1+i)^n - 1} = \left(\frac{A}{F}, i\%, n \right) \quad \text{Factor de anualidad}$$

Se obtiene un valor de A, tal que produzca F en n años, bajo una tasa de interés, i.

$$AP \rightarrow \frac{A}{P} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{A}{F} \frac{F}{P} = \left(\frac{A}{P}, i\%, n \right) \quad \text{Factor de recuperación del capital}$$

Se obtiene un valor de A, tal que produzca F en n años, bajo una tasa de interés, i.

$$FA \rightarrow \frac{F}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i} = \frac{A}{F} \frac{F}{P} = \left(\frac{F}{A}, i\%, n \right) \quad \text{Factor de monto compuesto en series}$$

Se obtiene un valor de F, dado un valor de A – la anualidad -, bajo una tasa de interés, i.

Factores de series de gradientes uniformes

Valor presente de beneficios crecientes, tal que: G en el primer año, 2G en el segundo, ...

$$PG \rightarrow \frac{P}{G} = \frac{(1+i)^{n+1} - (1+ni+i)}{i^2(1+i)^{n+1}} = \frac{P}{G} = \left(\frac{P}{G}, i\%, n \right)$$

Por medio de la misma expresión, es posible determinar el valor de G – incremento creciente -, dado P – valor presente del incremento creciente-.

Valor presente de beneficio (PVB) y de los costos (PVC)

Para una serie de n años,

$$PVB = b_0 + \frac{b_1}{(1+i)} + \dots + \frac{b_n}{(1+i)^n} \quad \text{Valor presente de los beneficios anuales}$$

$$PVC = c_0 + \frac{c_1}{(1+i)} + \dots + \frac{c_n}{(1+i)^n} \quad \text{Valor presente de los costos anuales}$$

Consecuentemente, el valor presente del **beneficio neto**, resulta:

$$PVBN = (b_0 - c_0) + \frac{(b_1 - c_1)}{(1+i)} + \dots + \frac{(b_n - c_n)}{(1+i)^n}$$

Cuando se requiere determinar el tamaño óptimo de un proyecto – una presa, por ejemplo -, es común que se observe el fenómeno conocido como *economía de escalas*, a partir del cual, la relación que existe entre los beneficios, los costos y las dimensiones del proyecto, es tal que al incrementarse las dimensiones, los beneficios aumentan en mayor medida que los costos. Los incrementos que se observan en los beneficios y en los costos de un proyecto, al comparar dos dimensiones diferentes, son conocidos respectivamente como beneficios y costos incrementales.

Para diferentes dimensiones de un proyecto, el valor presente de los beneficios y de los costos marginales se incrementa:

$$\Delta PVB = \Delta b_0 + \frac{\Delta b_1}{(1+i)} + \dots + \frac{\Delta b_n}{(1+i)^n} \quad \Delta PVC = \Delta c_0 + \frac{\Delta c_1}{(1+i)} + \dots + \frac{\Delta c_n}{(1+i)^n}$$

Para el caso de un aprovechamiento de un solo uso, tal como para abastecimiento; el tamaño óptimo se determina al seleccionar la alternativa para la cual el valor marginal del valor presente de los costos, es igual al de los beneficios. El análisis es simple, se parte de un proyecto con cierta escala y si se observa que al incrementar el tamaño del proyecto, los beneficios se incrementan en mayor medida que los costos, se analizan mayores escalas hasta que dicha condición deje de cumplirse (economía de escalas).

$$\Delta PVB = \Delta PVC$$

Para seleccionar cual proyecto de entre varios proyectos es económicamente prioritario, se maximizan los beneficios netos (el valor presente de B – C) o se hace mediante el criterio de la relación B / C = PVB / PVC.

Para la selección de la alternativa óptima, según dimensiones:

$$\frac{\Delta B}{\Delta C} = [PVB(A_j) - PVB(A_k)] / [PVC(A_j) - PVC(A_k)]$$

Have (1971) señala que lo más importante para una buena planeación, es la consideración de la cantidad máxima posible de distintas alternativas, estas, típicamente se restringen por los organismos operadores, por los planificadores, por la infactibilidad ante restricciones de diseño o ante los costos.

D. 2. 2. Valores supuestos para el cálculo del costo de las acciones sobre la demanda en zonas agrícolas

Cuadro D. 3. Parámetros considerados para el cálculo del costo de las acciones sobre la demanda

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Compra de derechos	Consolidación de zonas agrícolas	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concientización - agricultores -	Capacitación y concientización - público -	Incremento de eficiencia en distribución para uso público
Unidad	m ²	m ²	ml	m ²	m ²	m ²	m ²	hab	
Costo unitario	\$5.00	\$5.00	\$750.00	\$1.50	\$1.00	\$1.00	\$0.10	\$50.00	
Eficiencia inicial		30%	40%	58%	73%	85%	90%	70%	90%
Incremento independiente de eficiencia		10%	20%	20%	20%	8%	8%	10%	
Incremento al considerar acciones previas		10%	18%	15%	13%	4%	4%	10%	2%
Eficiencia final		40%	58%	73%	85%	90%	94%	90.0%	92%
Reducción porcentual de lámina		25%	31%	20%	15%	5%	4%		
Lámina bruta de riego		0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2		
Superficie inicial	100%	100%		100%	100%	100%	100%		
Superficie final	60%	80%		100%	100%	100%	100%		
Hectáreas por unidad		1	1	1	1	1	1		
Volumen ahorrado	0.8	0.32	3500	0.14	0.06	0.04	0.01	38.93	7.008
Costo total	\$5.00	\$1.00	\$750.00	\$1.50	\$1.00	\$1.00	\$0.10		
Valor de los pagos	-\$0.67	-\$0.13	-\$100.41	-\$0.20	-\$0.13	-\$0.13	-\$0.01	-\$0.10	-\$0.10
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.837	\$0.418	\$0.029	\$1.438	\$2.127	\$3.671	\$1.295		
Notas	Más caro que pago por afectaciones \$ 0.20 / m ³								
Superficie de riego modificada	54000	43200	43200	43200	43200	43200	43200		
Volumen de agua ahorrado	288.0	108.0	33.5	6.8	1.0	0.0	0.0		
Demanda resultante	432.0	324.0	290.5	283.7	282.7	282.6	282.6	350.4	343.4
Costo total para la superficie	\$240.982	\$45.184	\$0.962	\$9.777	\$2.132	\$0.180	\$0.003		

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	90000
Demanda agrícola inicial	720
Incremento en la disponibilidad	437.4
Lámina de riego actual	0.8
m ² / ha	10000

Población	3200000
demanda en bloque	210
Eficiencia uso	70%
Eficiencia distribución	90%
dotación	333
Demanda bruta Mm ³ /año	389

Cuadro D. 4. Costo aproximado de las acciones sobre la demanda en el Distrito de Riego 026

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Compra de derechos	Consolidación de zonas agrícolas	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concienciación - agricultores -
Unidad	m ²	m ²	ml	m ²	m ²	m ²	m ²
Costo unitario	\$5.00	\$5.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Eficiencia inicial		30%	40%	58%	73%	85%	90%
Incremento independiente de eficiencia		10%	20%	20%	20%	8%	8%
Incremento al considerar acciones previas		10%	18%	15%	13%	4%	4%
Eficiencia final		40%	58%	73%	85%	90%	94%
Reducción porcentual de lámina		25%	31%	20%	15%	5%	4%
Lámina bruta de riego		0.6	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
Superficie inicial	100%	100%		100%	100%	100%	100%
Superficie final	66%	80%		100%	100%	100%	100%
Hectáreas por unidad		1	1	1	1	1	1
Volumen ahorrado	0.8	0.32	3862.069	0.08	0.05	0.01	0.01
Costo total	\$5.00	\$1.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Valor de los pagos	-\$0.67	-\$0.13	-\$100.41	-\$0.01	-\$0.00	-\$0.00	-\$0.00
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.837	\$0.418	\$0.026	\$0.064	\$0.055	\$0.097	\$0.011
Notas	Más caro que pago por afectaciones \$ 0.20 / m ³						
Superficie de riego modificada	51480	41184	41184	41184	41184	41184	41184
Volumen de agua ahorrado	212.2	103.0	95.9	43.2	25.0	7.1	6.2
Demanda resultante	411.8	308.9	213.0	169.8	144.8	137.7	131.5
Costo total (millones de pesos, año 2000)	\$177.523	\$43.075	\$2.492	\$2.757	\$1.378	\$0.689	\$0.069

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	78000
Demanda agrícola inicial (Mm ³ / año)	624
Incremento en la disponibilidad	492.5
Lámina de riego actual	0.8
m ² / ha	10000

Población	3200000
demanda en bloque	210
Eficiencia uso	70%
Eficiencia distribución	90%
dotación	333
Demanda bruta Mm ³ /año	389

Al observar los costos calculados por metro cúbico ahorrado, resulta que el revestimiento de canales es la acción más redituable, mientras que el resto, tienden a encarecer el valor del agua y únicamente serían factibles si se reparte su costo entre todos los usuarios.

Del análisis mostrado, resulta conveniente el revestimiento de canales. Se sugiere además, realizar un programa de compactación del distrito de riego, así como la venta de derechos de agua de primer uso correspondiente a la tercera parte del Distrito de Riego, con un programa de restitución de agua residual tratada para uso agrícola.

Cuadro D. 5. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda en el Distrito de Riego 031, Las Lajas

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concienciación - agricultores -
Unidad	ml	m ²	m ²	m ²	m ²
Costo unitario	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Eficiencia inicial	40%	60%	76%	89%	94%
Incremento independiente de eficiencia	20%	20%	20%	8%	8%
Incremento al considerar acciones previas	20%	16%	13%	5%	4%
Eficiencia final	60%	76%	89%	94%	99%
Reducción porcentual de lámina	33%	21%	15%	5%	5%
Lámina bruta de riego	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
Superficie inicial		100%	100%	100%	100%
Superficie final		100%	100%	100%	100%
Hectáreas por unidad	1	1	1	1	1
Volumen ahorrado	2666.667	0.11	0.06	0.02	0.02
Costo total	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Valor de los pagos	-\$100.41	-\$0.01	-\$0.00	-\$0.00	-\$0.00
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.038	\$0.048	\$0.042	\$0.076	\$0.009
Notas					
Superficie de riego modificada	4400	4400	4400	4400	4400
Volumen de agua ahorrado	11.7	4.9	2.8	0.8	0.7
Demanda resultante	23.5	18.5	15.7	15.0	14.3
Costo total (millones de pesos, año 2000)	\$0.442	\$0.236	\$0.118	\$0.059	\$0.006

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	4400
Demanda agrícola inicial (Mm ³ / año)	35.2
Incremento en la disponibilidad	20.9
Lámina de riego actual	0.8

Cuadro D. 6. Análisis de costos unitarios de las acciones sobre la demanda y beneficios en la zona agrícola de las subcuencas de los ríos Pílon, Ramos y Blanquillo

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concienciación - agricultores -
Unidad	ml	m ²	m ²	m ²	m ²
Costo unitario	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Eficiencia inicial	40%	60%	76%	89%	94%
Incremento independiente de eficiencia	20%	20%	20%	8%	8%
Incremento al considerar acciones previas	20%	16%	13%	5%	4%
Eficiencia final	60%	76%	89%	94%	99%
Reducción porcentual de lámina	33%	21%	15%	5%	5%
Lámina bruta de riego	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
Superficie inicial		100%	100%	100%	100%
Superficie final		100%	100%	100%	100%
Hectáreas por unidad	1	1	1	1	1
Volumen ahorrado	2666.667	0.11	0.06	0.02	0.02
Costo total	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Valor de los pagos	-\$100.41	-\$0.01	-\$0.00	-\$0.00	-\$0.00
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.038	\$0.048	\$0.042	\$0.076	\$0.009
Notas					
Superficie de riego modificada	12000	12000	12000	12000	12000
Volumen de agua ahorrado	32.0	13.5	7.6	2.1	1.8
Demanda resultante	64.0	50.5	42.9	40.8	39.0
Costo total (millones de pesos, año 2000)	\$1.205	\$0.643	\$0.321	\$0.161	\$0.016

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	12000
Demanda agrícola inicial (Mm ³ / año)	96
Incremento en la disponibilidad	57.0
Lámina de riego actual	0.8
m ² / ha	10000

Cuadro D. 7. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda en la zona agrícola ubicada en las márgenes de los arroyos Ayancual y Pesquería

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Consolidación de zonas agrícolas	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concienciación - agricultores -
Unidad	m ²	ml	m ²	m ²	m ²	m ²
Costo unitario	\$5.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Eficiencia inicial	30%	40%	58%	73%	85%	90%
Incremento independiente de eficiencia	10%	20%	20%	20%	8%	8%
Incremento al considerar acciones previas	10%	18%	15%	13%	4%	4%
Eficiencia final	40%	58%	73%	85%	90%	94%
Reducción porcentual de lámina	25%	31%	20%	15%	5%	4%
Lámina bruta de riego	1.2	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5
Superficie inicial	100%		100%	100%	100%	100%
Superficie final	80%		100%	100%	100%	100%
Hectáreas por unidad	1	1	1	1	1	1
Volumen ahorrado	0.64	7724.138	0.17	0.10	0.03	0.02
Costo total	\$1.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Valor de los pagos	-\$0.13	-\$100.41	-\$0.01	-\$0.00	-\$0.00	-\$0.00
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.209	\$0.013	\$0.032	\$0.028	\$0.049	\$0.006
Notas						
Superficie de riego modificada	14400	14400	14400	14400	14400	14400
Volumen de agua ahorrado (Mm ³ / año)	72.0	67.0	30.2	17.5	5.0	4.3
Demanda resultante	216.0	149.0	118.7	101.2	96.3	92.0
Costo total (millones de pesos, año 2000)	\$15.061	\$0.871	\$0.964	\$0.482	\$0.241	\$0.024

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	18000
Demanda agrícola inicial (Mm ³ / año)	288
Incremento en la disponibilidad	196.0
Lámina de riego actual	1.6

Cuadro D. 8. Análisis de costos y beneficios de las acciones sobre la demanda, propuestas para la zona agrícola de Saltillo

Evaluación de costos de alternativas no estructurales	Compra de derechos	Consolidación de zonas agrícolas	Revestimiento en canales	Tecnificación	Modernización	Cambio de cultivos	Capacitación y concienciación - agricultores -
Unidad	m ²	m ²	ml	m ²	m ²	m ²	m ²
Costo unitario	\$5.00	\$5.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Eficiencia inicial		30%	40%	60%	76%	89%	94%
Incremento independiente de eficiencia		10%	20%	20%	20%	8%	8%
Incremento al considerar acciones previas		10%	20%	16%	13%	5%	4%
Eficiencia final		40%	60%	76%	89%	94%	99%
Reducción porcentual de lámina		25%	33%	21%	15%	5%	5%
Lámina bruta de riego		0.8	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
Superficie inicial	100%	100%		100%	100%	100%	100%
Superficie final	66%	80%		100%	100%	100%	100%
Hectáreas por unidad		1	1	1	1	1	1
Volumen ahorrado	0.8	0.16	2666.667	0.11	0.06	0.02	0.02
Costo total	\$5.00	\$1.00	\$750.00	\$0.04	\$0.02	\$0.01	\$0.00
Valor de los pagos	-\$0.67	-\$0.13	-\$100.41	-\$0.01	-\$0.00	-\$0.00	-\$0.00
Costo por metro cúbico ahorrado \$/m ³	\$0.837	\$0.837	\$0.038	\$0.048	\$0.042	\$0.076	\$0.009
Notas	Más caro que pago por afectaciones \$ 0.20 / m ³						
Superficie de riego modificada	660	660	660	660	660	660	660
Volumen de agua ahorrado (Mm ³ / año)	2.7	0.0	1.8	0.7	0.4	0.1	0.1
Demanda resultante	5.3	5.3	3.5	2.8	2.4	2.2	2.1
Costo total (millones de pesos, año 2000)	\$2.276	\$0.000	\$0.066	\$0.035	\$0.018	\$0.009	\$0.001

Tasa de interés	12%
Número de años para pagar la inversión	20
Superficie total involucrada	1000
Demanda agrícola inicial (Mm ³ / año)	8
Incremento en la disponibilidad	5.9
Lámina de riego actual	0.8
m ² / ha	10000

D. 2. 3. Valores supuestos para el cálculo del costo de los proyectos de transferencia de agua
Cuadro D. 9. Distancia lineal entre las fuentes de abastecimiento y los centros de demanda.

Distancias																					
Sitio	Altitud msnm	Coordenadas		x	y	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco	Pánuco - Valles	Acuífero de Laguna Madre
		x	y																		
ZMM	500	-11519	305270	109075	300956	121	171	219	142	123	64	71	483	266	202	157	193	143	466	284	306
DR026 BSJ	100	156273	370069	148438	365115	84	9	46	166	167	169	165	338	262	250	56	191	45	465	325	155
DR031 Lajas		120585	310048	200765	357156	15	62	93	98	98	104	99	354	207	183	94	216	68	415	262	174
DR025 Bbvo	60	237286	325189	97912	214837	130	97	49	178	189	217	211	246	228	246	148	282	136	412	305	63
DR086 Soto La Marina		201700	118643	78674	221826	204	252	239	142	161	220	212	290	36	114	299	423	274	209	117	204
Saltillo	1600	53989	267373	30743	257333	65	136	172	68	52	25	20	414	195	142	148	233	124	400	226	243
Linares		88002	211343	38654	254556	92	165	184	11	14	73	66	379	130	81	194	295	168	335	164	225
Montemorelos	500	58854	248035	466612	235805	73	147	179	51	33	30	21	408	177	122	164	253	140	381	206	242
Ciudad Anahuac		36678	473275	166809	108185	187	156	201	266	255	216	219	491	388	347	102	33	122	596	431	311
Ciudad Victoria		233050	88396	466612	235805	246	289	271	185	204	264	256	276	69	151	338	464	313	176	131	221
Reynosa		204762	351857	166809	108185	108	58	7	174	181	198	193	286	247	251	107	240	96	440	318	104
Cuchillo		109075	300956	301	304	315	301	302	311	309	467	306	302	301	316	301	316	301	328	301	354
Marte R. Gómez	100	140602	360161	361	360	365	362	365	376	374	486	361	364	361	382	361	382	361	373	361	391
Anzalduas		200765	357156	368	361	357	371	377	395	392	445	358	374	368	403	368	403	368	359	369	369
Cerro Prieto	300	97912	214837	215	220	238	214	215	225	223	427	225	215	215	231	215	231	215	257	215	291
Libertad		78674	221826	224	232	253	222	222	227	225	447	238	222	224	231	224	231	224	274	224	309
Ramos - Raíces		30743	257333	269	283	308	266	262	257	257	506	291	263	270	258	270	258	270	332	269	368
Tunal		38654	254556	264	277	302	261	257	254	254	498	285	259	265	256	265	265	265	324	264	361
Terreros		466612	235805	428	396	355	438	454	495	488	236	381	446	426	511	426	511	426	327	429	292
Vicente Guerrero	145	166809	108185	122	109	113	128	139	174	167	319	108	133	121	188	121	188	121	130	122	167
La Escondida	200	114985	129941	130	134	156	131	135	155	151	375	140	133	130	165	130	165	130	180	130	222
Falcón	160	111522	403490	403	405	413	404	405	411	410	537	407	404	403	415	403	415	403	423	403	443
Venustiano Carranza	240	12914	496729	506	514	531	504	501	497	497	672	520	502	506	496	506	496	506	546	505	571
Las Blancas	160	112024	377443	377	379	387	377	378	386	384	518	381	378	377	390	377	390	377	398	377	419
Pánuco	60	240040	-87005	157	127	96	167	184	227	220	243	114	175	155	243	155	243	155	87	158	103
Pánuco - Valles	280	108577	48387	48	63	104	49	57	92	85	361	76	52	48	107	48	107	48	140	48	192
Acuífero de Laguna Madre		294664	300170	353	334	315	359	370	400	395	346	326	364	352	412	351	412	351	305	353	300
Otros acuíferos				109	148	201	98	79	31	39	467	167	88	112	13	112	13	112	240	109	295
La Garita	195	112810	131318	131	136	158	132	136	155	151	377	142	134	131	165	131	165	131	183	131	224
Campoamor	175	126221	148395	149	150	166	151	156	176	172	371	154	153	149	187	149	187	149	187	149	224
Jaumave	780	122940	47581	49	54	91	54	65	104	97	347	65	59	49	120	49	120	49	126	50	178
Real de Borbón	200	102932	154360	154	161	183	154	156	170	167	395	167	155	155	179	155	179	155	206	154	246
Congregación Calles	420	50136	261000	267	279	301	265	262	262	261	491	286	264	268	263	268	263	268	323	267	358
Confluencia Potosí - Raíces	280	105761	218421	218	222	238	218	220	231	228	422	227	219	218	237	218	237	218	256	218	289
La Unión	320	78024	262732	264	272	290	263	263	267	265	469	277	263	265	270	265	270	265	308	264	340
El Chapotal	320	48645	242238	249	262	286	247	244	243	242	483	269	245	250	245	250	245	250	309	249	345
San Francisco II	600	16234	272280	287	302	329	284	279	272	273	526	311	281	288	272	288	272	288	352	287	389
Pajonal	1500	-7082	295102	317	333	361	313	307	297	298	558	342	310	318	295	318	295	318	385	317	422

Costos fuentes.xls

Cuadro D. 10. Parámetros simplificados para el dimensionamiento de las obras

Parámetros auxiliares	Gasto de diseño													
	Cuchillo	Mante R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Ratones	Tunal	Terreos	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Reynosa
Sitio														
ZMM	10.00	12.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	10.00	0.25	10.00	5.00	3.00	20.00
DR026 BSJ	6.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	6.00	0.25	6.00	5.00	3.00	6.00
DR031 Lajas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
DR025 Bbvo	10.00	10.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	10.00	0.25	10.00	5.00	3.00	10.00
DR086 Soto La Marina	10.00	10.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	10.00	0.25	10.00	5.00	3.00	10.00
Saltillo	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	0.70	1.00	1.50	3.00	0.25	3.00	3.00	3.00	3.00
Linares	10.00	10.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	10.00	0.25	10.00	5.00	3.00	10.00
Montemorelos	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	0.70	1.00	1.50	3.00	0.25	3.00	3.00	3.00	3.00
Ciudad Anahuac	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50
Ciudad Victoria	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Reynosa	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Total de conductos de 5m²/s														
ZMM	2.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	4.00
DR026 BSJ	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00
DR031 Lajas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR025 Bbvo	2.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	2.00
DR086 Soto La Marina	2.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	2.00
Saltillo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Linares	2.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	2.00
Montemorelos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciudad Anahuac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciudad Victoria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reynosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Número de conductos														
ZMM	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	4.00
DR026 BSJ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
DR031 Lajas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
DR025 Bbvo	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00
DR086 Soto La Marina	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00
Saltillo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Linares	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00
Montemorelos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ciudad Anahuac	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ciudad Victoria	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Reynosa	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Caudal por conducto														
ZMM	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	0.25	5.00	5.00	3.00	5.00
DR026 BSJ	6.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	6.00	0.25	6.00	5.00	3.00	6.00
DR031 Lajas	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
DR025 Bbvo	5.00	5.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	0.25	5.00	5.00	3.00	5.00
DR086 Soto La Marina	5.00	5.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	0.25	5.00	5.00	3.00	5.00
Saltillo	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	0.70	1.00	1.50	3.00	0.25	3.00	3.00	3.00	3.00
Linares	5.00	5.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	0.25	5.00	5.00	3.00	5.00
Montemorelos	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	0.70	1.00	1.50	3.00	0.25	3.00	3.00	3.00	3.00
Ciudad Anahuac	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50
Ciudad Victoria	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Reynosa	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Caudal de diseño														
ZMM	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
DR026 BSJ	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
DR031 Lajas	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
DR025 Bbvo	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
DR086 Soto La Marina	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Saltillo	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Linares	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Montemorelos	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Ciudad Anahuac	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Ciudad Victoria	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00
Reynosa	5.00	6.00	3.00	5.00	1.00	0.70	1.00	1.50	5.00	2.00	5.00	5.00	3.00	5.00

Cuadro D. 11. Localización de los principales centros de demanda de la Zona de Estudio

TRANSFERENCIAS	Sitio	Altitud msnm	Coordenadas		Oferta		Demanda
			x	y	Potable	Residual	
						%	
	ZMM	500	11325	304214		0.54	20
	DR026 BSJ	100	148438	365115		0.3	6
	DR031 Lajas	270	120585	310048		0.3	1
	DR025 Bbvo	60	237286	325189		0.3	10
	DR086 Soto La Marina	120	201700	118643		0.3	10
	Saltillo	1600	-53669	267373		0.5	3
	Linares	300	89002	211343		0.5	10
	Montemorelos	500	58854	248035		0.5	3
	Ciudad Anahuac	215	36678	473275		0.5	0.5
	Ciudad Victoria	330	147698	93275		0.5	1
	Reynosa	85	204762	351857		0.5	1

Cuadro D. 12. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas

Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco
Diámetro hipotético "														
ZMM	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
DR026 BSJ	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
DR031 Lajas	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
DR025 Bbvo	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
DR086 Soto La Marina	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Saltillo	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Linares	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Montemorelos	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Ciudad Anahuac	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Ciudad Victoria	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Reynosa	75	81	59	75	36	30	36	43	75	49	75	75	59	75
Diámetro comercial														
ZMM	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
DR026 BSJ	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
DR031 Lajas	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
DR025 Bbvo	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
DR086 Soto La Marina	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Saltillo	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Linares	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Montemorelos	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Ciudad Anahuac	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Ciudad Victoria	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Reynosa	72	72	55	72	24	24	24	40	72	40	72	72	55	72
Diámetro comercial en m														
ZMM	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
DR026 BSJ	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
DR031 Lajas	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
DR025 Bbvo	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
DR086 Soto La Marina	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Saltillo	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Linares	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Montemorelos	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Ciudad Anahuac	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Ciudad Victoria	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Reynosa	1.83	1.83	1.40	1.83	0.61	0.61	0.61	1.02	1.83	1.02	1.83	1.83	1.40	1.83
Area comercial														
ZMM	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
DR026 BSJ	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
DR031 Lajas	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
DR025 Bbvo	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
DR086 Soto La Marina	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Saltillo	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Linares	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Montemorelos	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Ciudad Anahuac	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Ciudad Victoria	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Reynosa	2.63	2.63	1.53	2.63	0.29	0.29	0.29	0.81	2.63	0.81	2.63	2.63	1.53	2.63
Velocidad m/s														
ZMM	1.90	2.28	1.96	1.90	3.43	2.40	3.43	1.85	1.90	0.31	1.90	1.90	1.96	1.90
DR026 BSJ	2.28	2.28	1.96	1.90	3.43	2.40	3.43	1.85	2.28	0.31	2.28	1.90	1.96	2.28
DR031 Lajas	0.38	0.38	0.65	0.38	3.43	2.40	3.43	1.23	0.38	0.31	0.38	0.38	0.65	0.38
DR025 Bbvo	1.90	1.90	1.96	1.90	3.43	2.40	3.43	1.85	1.90	0.31	1.90	1.90	1.96	1.90
DR086 Soto La Marina	1.90	1.90	1.96	1.90	3.43	2.40	3.43	1.85	1.90	0.31	1.90	1.90	1.96	1.90
Saltillo	1.14	1.14	1.96	1.14	3.43	2.40	3.43	1.85	1.14	0.31	1.14	1.14	1.96	1.14
Linares	1.90	1.90	1.96	1.90	3.43	2.40	3.43	1.85	1.90	0.31	1.90	1.90	1.96	1.90
Montemorelos	1.14	1.14	1.96	1.14	3.43	2.40	3.43	1.85	1.14	0.31	1.14	1.14	1.96	1.14
Ciudad Anahuac	0.19	0.19	0.33	0.19	1.71	1.71	1.71	0.62	0.19	0.31	0.19	0.19	0.33	0.19
Ciudad Victoria	0.38	0.38	0.65	0.38	3.43	2.40	3.43	1.23	0.38	0.31	0.38	0.38	0.65	0.38
Reynosa	0.38	0.38	0.65	0.38	3.43	2.40	3.43	1.23	0.38	0.31	0.38	0.38	0.65	0.38

Cuadro D. 14. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)

Desnivel														
Nivel de la fuente	300	100	90	300	350	550	550	550	145	200	160	240	160	60
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco
ZMM	200	400	410	200	150	-50	-50	-50	355	300	340	260	340	440
DR026 BSJ	-200	0	10	-200	-250	-450	-450	-450	-45	-100	-60	-140	-60	40
DR031 Lajas	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
DR025 Bbvo	-240	-40	-30	-240	-290	-490	-490	-490	-85	-140	-100	-180	-100	0
DR086 Soto La Marina	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
Saltillo	1300	1500	1510	1300	1250	1050	1050	1050	1455	1400	1440	1360	1440	1540
Linares	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
Montemorelos	200	400	410	200	150	-50	-50	-50	355	300	340	260	340	440
Ciudad Anahuac	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
Ciudad Victoria	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
Reynosa	-300	-100	-90	-300	-350	-550	-550	-550	-145	-200	-160	-240	-160	-60
Carga total														
ZMM	206	408	428	207	204	0	0	27	368	332	348	269	352	463
DR026 BSJ	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63
DR031 Lajas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DR025 Bbvo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
DR086 Soto La Marina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saltillo	1303	1507	1524	1303	1273	1061	1059	1116	1465	1422	1447	1371	1450	1560
Linares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montemorelos	204	407	425	203	164	0	0	15	364	319	348	272	352	459
Ciudad Anahuac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciudad Victoria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reynosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000 kgf / m³ (9.81 N / kgf) x Gasto m³ / s * Carga total / eficiencia electromecánica x 1 kW / 1000 W UNIDADES N														
Potencia total kgm m / s														
Eficiencia electromecánica: 0.9														
ZMM	22444	53414	14007	11279	2225	0	0	436	40113	905	37900	14685	11511	100894
DR026 BSJ	0	30	454	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4104
DR031 Lajas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DR025 Bbvo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2200
DR086 Soto La Marina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saltillo	42613	49268	49849	42620	13874	8097	11541	18241	47891	3876	47325	44845	47429	50999
Linares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Montemorelos	6657	13316	13898	6622	1793	0	0	241	11891	870	11381	8907	11502	14998
Ciudad Anahuac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciudad Victoria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reynosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía = Trabajo horario = Potencia x Tiempo kW hora														
ZMM	6.23	14.84	3.89	3.13	0.62	0.00	0.00	0.12	11.14	0.25	10.53	4.08	3.20	28.03
DR026 BSJ	0.00	0.01	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14
DR031 Lajas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR025 Bbvo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
DR086 Soto La Marina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saltillo	11.84	13.69	13.85	11.84	3.85	2.25	3.21	5.07	13.30	1.08	13.15	12.46	13.17	14.17
Linares	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Montemorelos	1.85	3.70	3.86	1.84	0.50	0.00	0.00	0.07	3.30	0.24	3.16	2.47	3.19	4.17
Ciudad Anahuac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciudad Victoria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reynosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuadro D. 15. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)

Costo horario															
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzaidualas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco	Pánuco - Valles
ZMM	4.86	11.56	3.03	2.44	0.48	0.00	0.00	0.09	8.68	0.20	8.20	3.18	2.49	21.83	11.03
DR026 BSJ	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00
DR031 Lajas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR025 Bbvo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00
DR086 Soto La Marina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saltillo	9.22	10.66	10.79	9.22	3.00	1.75	2.50	3.95	10.36	0.84	10.24	9.70	10.26	11.04	9.42
Linaires	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Montemorelos	1.44	2.88	3.01	1.43	0.39	0.00	0.00	0.05	2.57	0.19	2.46	1.93	2.49	3.25	1.63
Ciudad Anahuac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciudad Victoria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reynosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Costo unitario															
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzaidualas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco	Pánuco - Valles
ZMM	0.49	0.96	1.01	0.49	0.48	0.00	0.00	0.06	0.87	0.78	0.82	0.64	0.83	1.09	0.55
DR026 BSJ	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
DR031 Lajas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR025 Bbvo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
DR086 Soto La Marina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saltillo	3.07	3.55	3.60	3.07	3.00	2.50	2.50	2.63	3.45	3.36	3.41	3.23	3.42	3.68	3.14
Linaires	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Montemorelos	0.48	0.96	1.00	0.48	0.39	0.00	0.00	0.03	0.86	0.75	0.82	0.64	0.83	1.08	0.54
Ciudad Anahuac	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ciudad Victoria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reynosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Indemnizaciones \$/m³														
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzaidualas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco
ZMM	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
DR026 BSJ	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
DR031 Lajas	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
DR025 Bbvo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
DR086 Soto La Marina	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Saltillo	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Linaires	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Montemorelos	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Ciudad Anahuac	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Ciudad Victoria	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00
Reynosa	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00

Cuadro D. 16. Parámetros para el cálculo de los costos de construcción y operación de las obras de transferencia de agua analizadas (continuación)

Conducciones M\$														
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco
ZMM	2239	3168.79	1016.04	1317.00	68.09	35.41	39.53	992.52	4931.50	414.44	2921.12	1790.59	665.23	17292.79
DR026 BSJ	776.42	86.00	215.40	1538.52	92.72	93.50	91.36	694.62	2431.50	512.96	518.16	1774.69	208.57	4310.96
DR031 Lajas	136.08	572.49	432.37	907.98	54.12	57.72	54.84	727.01	1921.18	376.15	870.94	1999.28	315.86	3846.60
DR025 Bbvo	2420.98	1807.32	225.66	1649.21	104.91	120.47	116.82	505.62	4233.37	504.91	2748.76	2620.17	631.03	7648.12
DR086 Soto La Marina	3794.22	4678.67	1108.94	1312.81	88.98	121.99	117.63	595.05	675.83	234.47	5543.65	3920.50	1273.44	3881.39
Saltillo	598.52	1260.94	799.96	635.28	28.71	14.03	11.08	850.11	1810.09	291.09	1370.94	2161.62	578.53	3713.15
Linares	1708.06	3065.57	857.01	97.48	7.78	40.70	36.35	779.39	2408.63	167.42	3591.75	2737.67	780.29	6212.96
Montemorelos	676.83	1367.64	832.30	475.55	18.21	16.41	11.76	838.02	1638.99	250.12	1522.70	2346.20	650.47	3533.60
Ciudad Anahuac	1733.98	1442.85	934.60	2463.94	141.27	119.71	121.21	1008.97	3595.71	713.36	949.33	309.75	566.78	5529.59
Ciudad Victoria	2282.84	2684.48	1258.55	1716.89	113.07	146.06	141.71	567.37	641.36	309.67	3133.05	4303.58	1456.93	1628.51
Reynosa	1005.48	536.81	30.86	1611.96	100.37	109.74	106.68	588.37	2287.83	515.19	988.77	2230.25	447.28	4084.51
ZMM	1.26	1.48	1.90	1.48	0.38	0.28	0.22	3.71	2.77	9.30	1.64	2.01	1.24	4.85
DR026 BSJ	0.73	0.08	0.40	1.73	0.52	0.75	0.51	2.60	2.27	11.52	0.48	1.99	0.39	4.03
DR031 Lajas	0.76	3.21	2.43	5.10	0.30	0.46	0.31	4.08	10.78	8.44	4.89	11.22	1.77	21.59
DR025 Bbvo	1.36	1.01	0.42	1.85	0.59	0.97	0.66	1.89	2.38	11.33	1.54	2.94	1.18	4.29
DR086 Soto La Marina	2.13	2.63	2.07	1.47	0.50	0.98	0.66	2.23	0.38	5.26	3.11	4.40	2.38	2.18
Saltillo	1.12	2.36	1.50	1.19	0.16	0.11	0.06	3.18	3.39	6.53	2.56	4.04	1.08	6.95
Linares	0.96	1.72	1.60	0.11	0.04	0.33	0.20	2.92	1.35	3.76	2.02	3.07	1.46	3.49
Montemorelos	1.27	2.56	1.56	0.89	0.10	0.13	0.07	3.14	3.07	5.61	2.85	4.39	1.22	6.61
Ciudad Anahuac	19.46	16.19	10.49	27.66	1.59	1.34	1.36	11.32	40.36	16.01	10.66	3.48	6.36	62.07
Ciudad Victoria	12.81	15.07	7.06	9.64	0.63	1.17	0.80	3.18	3.60	6.95	17.58	24.15	8.18	9.14
Reynosa	5.64	3.01	0.17	9.05	0.56	0.88	0.60	3.30	12.84	11.57	5.55	12.52	2.51	22.92

Potabilización \$/m³																								
Sitio	Cuchillo	Marte R. Gómez	Anzalduas	Cerro Prieto	Libertad	Ramos - Raíces	Tunal	Terreros	Vicente Guerrero	Pedro J. Méndez	Falcón	Venustiano Carranza	Las Blancas	Pánuco	Pánuco - Valles	Acuífero de Laguna Madre	Otros acuíferos	La Garita	Campoamor	Jaunave	Real de Borbón	Congregación	Calles	
ZMM	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
DR026 BSJ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR031 Lajas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR025 Bbvo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DR086 Soto La Marina	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saltillo	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Linares	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Montemorelos	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Ciudad Anahuac	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Ciudad Victoria	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Reynosa	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	5.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Anexo E. DESCRIPCIÓN DE ARCHIVOS MAGNÉTICOS GENERADOS

Casi la totalidad del material empleado para realizar la tesis, se encuentra almacenado en archivos magnéticos, tal como se describe en el siguiente cuadro. Para su consulta únicamente es necesario contar con el sistema *Microsoft Office 2000* y *AutoCad 2000*, o versiones compatibles con los mismos.

Se incluyen cerca de 500 archivos magnéticos, que se describen resumidamente en el siguiente cuadro.

Cuadro E. 1. Descripción general de los archivos magnéticos de la tesis

Directorio ... subdirectorio ... archivo ... extensión ... descripción					
Arc View	acui_69	dbf	Acuíferos de las Regiones Administrativas VI y IX		
	lim6_9		Municipios de las Regiones VI y IX		
	mun_sj		Municipios de la Cuenca del Río San Juan		
	repest		Claves de estados de la República Mexicana		
	repmex		Claves de estados de la República Mexicana		
Archivos de apoyo	4HEstoc	dir	Análisis hidrológico de escurrimientos de la estación China y generación de muestras sintéticas		
	Estadist	dir	Programa AXX y análisis estadístico de la hidrología de la CRSJ		
	Infraestructura	dir	Información de las principales presas y plantas de tratamiento		
	ZMM	dir	Otros archivos obtenidos en la Gerencia Regional del Río Bravo		
Archivos de tesis	Cálculos en excel	Acciones en cada centro	dir	Archivos magnéticos en Excel	
		Balances	Acuíferos	dir	Información y análisis de los acuíferos de la zona de estudio
			Hidrometría	dir	Información original y complementada de registros hidrométricos
			Pluviometría	dir	Información de precipitación y evaporaciones. Registros y análisis pluviométrico, según las distintas cuencas de captación.
			Usos del agua	dir	Especialmente el archivo UC. Xls, cuenta con gran información relativa a usos históricos y retornos de agua residual. El resto, describen extracciones, proyección demográfica, etc.
			Virgenes	dir	Presenta los resultados del cálculo de escurrimientos vírgenes para las distintas áreas de captación propuestas por GASIR y por la topología del modelo de simulación.
		Costos	dir	Hipótesis, criterio y cálculo del diversos costos estudiados	
		Modelos simplificados	dir	Análisis individual de cada centro de demanda estudiado	
		Simulador	dir	Archivos SJ2000*.xls, que cuentan con el código de simulación (Macro SIMULA) aplicado a escenarios históricos y futuros.	
		Tablas y Diagramas	dir	Archivos en Excel, auxiliares para la integración de cuadros y esquemas del documento final	
	Documento impreso	Versión compacta	dir	Capítulos y anexos de la tesis en formato Word 2000	
		Versión preliminar	dir	Versión preliminar de la tesis, incluye más información que la versión compacta, pero menos sintetizada	
	Figuras en AutoCAD			Planos temáticos de los capítulos de la tesis	
	Fotografías			Fotografías de la zona de estudio y temas relacionados	
	Imágenes para office			Imágenes en formato wmf, insertables en Word, relacionadas con archivos realizados en AutoCAD y otros	
Presentación en Powerpoint			Archivos de presentación de la tesis, preparados en Powerpoint.		

A continuación se describen aquellos directorios que se consideran de mayor interés, debido a que involucran una mayor cantidad de análisis e información.

El directorio llamado *Simulador*, comprende los archivos que involucran el código de simulación matemática de funcionamiento hidrológico, expuesto en el Anexo B.

E.1 ARCHIVOS GENERADOS EN ARC VIEW

La cartografía georreferida que relaciona la información municipal e hidrológica, permitió generar algunas figuras temáticas incluidas en los primeros cuatro capítulos.

El análisis geográfico del archivo *Situación Municipal del Agua Potable*, definió algunos análisis del uso del agua para fines público y urbano, así como su situación comercial

E.2 ARCHIVOS DE HIDROLOGIA ESTOCASTICA, EN EL DIRECTORIO 4HESTOC

Dentro de éste directorio se incluyen los resultados de un análisis hidrológico de las propiedades estadísticas de los registros mensuales y anuales de lluvia y escurrimiento de las estaciones pluviométricas e hidrométricas de la Cuenca del Río San Juan.

La búsqueda de aplicaciones de los modelos estocásticos reveló la insuficiencia espacial de información, necesaria para un análisis certero y detallado que relacione la distribución de la demanda, con futuros escenarios hidrológicos.

E.3 DIRECTORIO DE BALANCES, DENTRO DE CÁLCULOS EN EXCEL

El subdirectorío de Hidrometría incluye un archivo denominado *Hidrometría total.xls*, que cuenta con registros capturados manualmente, calculados y recopilados en diversas fuentes de información.

El directorio de Pluviometría, cuenta con un análisis de polígonos de Thiessen, por medio del cual se calcula la precipitación mensual para cada una de las subcuencas en que la GASIR y el Modelo matemático, discretizan la superficie de la zona de estudio.

Tal como se muestra en el Cuadro E. 1, el subdirectorío Usos del Agua cuenta con un archivo denominado *UC.xls*, que involucra un análisis detallado que involucra la proyección de la demanda, relacionada con las extracciones; a partir de lo cual se infieren volúmenes de retorno y deficiencias. Esta información, junto con la de los archivos descritos en los párrafos precedentes, facilitó el cálculo del *Escurrecimiento Virgen*.

Dentro del directorio denominado *Virgenes* se encuentra la conjunción de todo el análisis hidrológico histórico del período 1926 – 1998, a partir del cual se calculó el volumen de escurrimiento por cuenca propia, mismo que habría vertido de la CRSJ en caso de no existir ningún aprovechamiento por parte del ser humano. Se consideró que únicamente a partir del conocimiento del *Escurrecimiento virgen* y de sus propiedades estadísticas, es posible el análisis de escenarios futuros, así como la generación de *muestras sintéticas* derivadas de modelos *estocásticos*.

Los registros vírgenes generados se integran en el archivo *CPGenerados.xls*, en el cual, mediante un proceso algebraico de sumas y restas, se calcula el escurrimiento virgen de cada subcuenca del modelo. La segunda hoja de cálculo de este archivo se copia en el los archivos del modelo de simulación.

Cabe mencionar que los archivos *UC*, *Hidrometría Total* y *CPGenerados*, se encuentran ligados, de modo que se actualizan entre sí. Igualmente, los archivos *UC* y cada archivo de simulación hidrológica, se encuentran automáticamente vinculados.

ANEXO E. DESCRIPCION DE ARCHIVOS MAGNETICOS GENERADOS

INDICE TEMATICO

<i>Anexo E.</i>	<i>Descripción de archivos magnéticos generados</i>	<i>197</i>
<i>E.1</i>	<i>Archivos Generados en Arc View</i>	<i>198</i>
<i>E.2</i>	<i>Archivos de hidrologia estocastica, en el directorio 4hestoc</i>	<i>198</i>
<i>E.3</i>	<i>Directorio de Balances, dentro de cálculos en excel</i>	<i>198</i>

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro E. 1.</i>	<i>Descripción general de los archivos magnéticos de la tesis</i>	<i>197</i>
---------------------	---	------------

ANEXO F. FOTOGRAFÍAS

INDICE TEMATICO

<i>Anexo F.</i>	<i>Fotografías</i>	<i>199</i>
<i>F.1</i>	<i>Impactos por la sequia</i>	<i>199</i>
<i>F.2</i>	<i>Fotografías Satelitales</i>	<i>199</i>
<i>F.3</i>	<i>Generalidades</i>	<i>200</i>
<i>F.4</i>	<i>Hidrologia</i>	<i>202</i>
<i>F.5</i>	<i>Infraestructura</i>	<i>203</i>
<i>F.6</i>	<i>Fotografías obtenidas de la Comision Nacional del Agua</i>	<i>206</i>

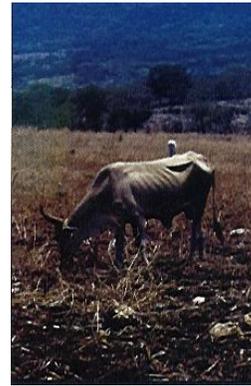
Anexo F. FOTOGRAFÍAS

A continuación se describen las fotografías incluidas en archivos magnéticos y parcialmente en la presentación de la tesis. Se lista el tema de la foto y en seguida, la fuente de información.

F.1 IMPACTOS POR LA SEQUIA



Descalzo Agric. *Revista Epoca*



Reses sequía y sin forrajes. Revista Epoca

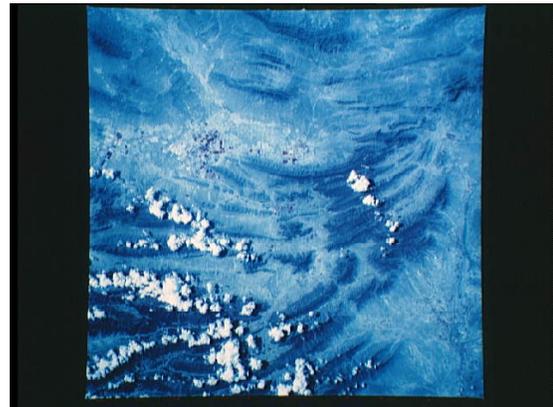


Sequía ZMM *Agua para Monterrey, la obra del Siglo, Gobierno del Estado de Nuevo León*

F.2 FOTOGRAFÍAS SATELITALES



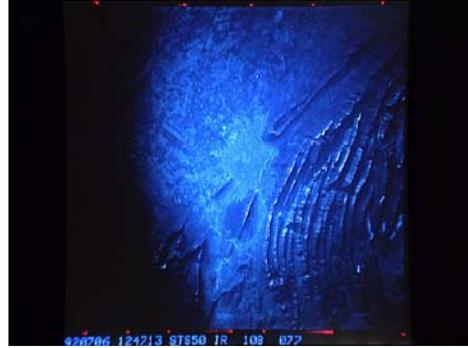
Presas La Amistad. *NASA*



Sierra Madre Oriental ZMM *NASA*



CRSJ. *Espaciomapas estatales de INEGI*



Sierra Madre Oriental, nocturna. *NASA*

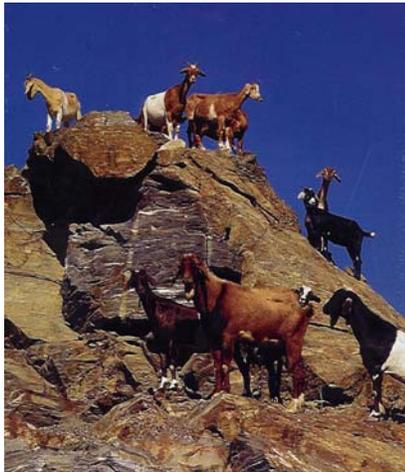


MRG Falcón 1. *NASA*



Presa Falcón. *NASA*

F.3 GENERALIDADES



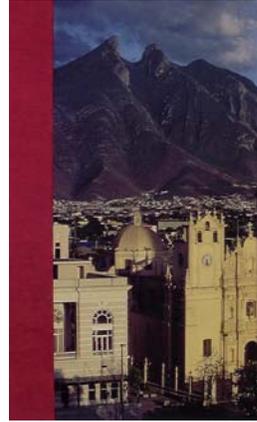
Cabras NL. *Guía turística del Edo de N. L.*



Cascada "Cola de Caballo" *Guía Turística del Estado de N. L.*



Cd. Victoria. *Agua y Sociedad, CNA.*



Cerro de "La Silla"
Guía Turística del Estado de N. L.



Fundidora, Monterrey
Guía Turística del Estado de N. L.



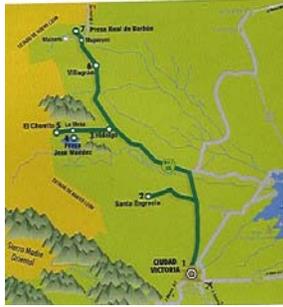
Risco en la Sierra Huasteca.
Guía Turística del Estado de N. L.



Plantíos de Sorgo *Agua y Sociedad*



Trigales. *Guía Turística del Estado de N. L.*



Croquis

Guía Turística del Estado de Tamaulipas

F.4 HIDROLOGIA



Huracán "Elena", Golfo de México

NASA



Río Pánuco. *Agua y Sociedad*



Río Ramos

Guía Turística del Estado de N. L.



Río Bravo

Agua y Sociedad



Río Sabinas

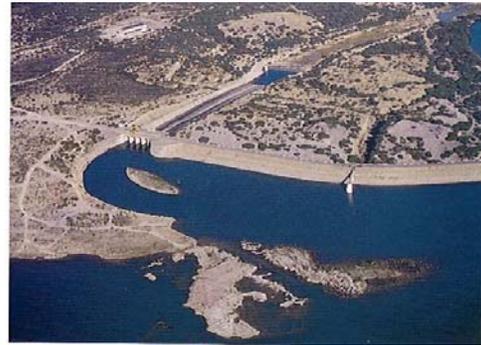
Guía Turística del Estado de N. L.

F.5 INFRAESTRUCTURA



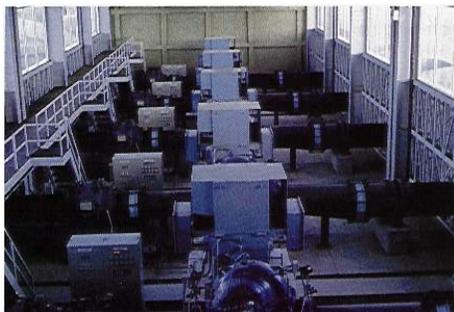
Cámara de oscilación. Acueducto Linares – Monterrey.

Presa Cerro Prieto. Grupo Codice



Embalse y presa Cerro Prieto

Presa Cerro Prieto. Grupo Codice



Planta de Bombeo No. 5 Ac. Linares – Monterrey. *Presa C. Prieto. Grupo Códice*



Planta de Bombeo No. 5 *Presa C. Prieto. Grupo Códice*



Acueducto Linares – Monterrey, *Presa Cerro Prieto, Grupo Códice*



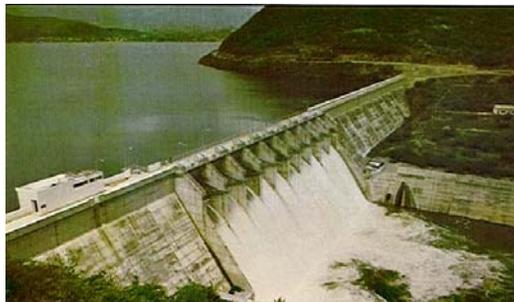
Potabilizadora San Roque, *Presa Cerro Prieto, Grupo Códice*



Presa "Cuchillo", *Agua y Sociedad*



Presa Falcón. *Presas de México, SRH*



Presa La Boca. *Presas de México, SRH*



Presa Vicente Guerrero. *Agua y Sociedad.*



Planta de Tratamiento Dulces Nombres. *CNA*



Presa La Boca, *CNA*



Presas Venustiano Carranza. *Agua y Sociedad*



Presas Marte R. Gómez. *Agua y Sociedad*



Presas Marte. R. Gómez, Tamps. *Presas de México, SRH*



Presas V. Carranza *Presas de México. SRH*



Pozo del Sistema Mina. *Agua para Monterrey, La Obra del Siglo. Gob. De N. L.*



Presas José Méndez. *Guía Turística del Edo. De Tamaulipas.*



Presas Real de Borbón. *Guía Turística del Edo. De Tamaulipas.*



Embalse y presas La Boca. *Presas Cerro Prieto, Grupo Códice*

F.6 FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA

