

01162



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO**

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

SIMULACIÓN NUMÉRICA Y ANÁLISIS DE  
ESCENARIOS DE MANEJO DEL ACUÍFERO DEL  
VALLE DE CABORCA, SONORA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA

PRESENTA:

**DELIA GONZÁLEZ ROJAS**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. WALDO OJEDA BUSTAMANTE**



CAMPUS MORELOS, MEXICO

2005

m. 341178



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.

*Dedicada especialmente a mis padres,  
Benigno González y Facunda Rojas,  
y a mi esposo,  
Ivan Ruvalcaba.*

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a digitalizar en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Delia González  
Rojas

FECHA: 18/02/2005

FIRMA: Delia y

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México.*

*A mi director de tesis, Dr. Waldo Ojeda Bustamante, por toda su ayuda durante el desarrollo de este trabajo.*

*A mis sinodales, Dr. Nahun Hamed García Villanueva, M. C. Arturo Hidalgo Toledo, M. I. Carlos Gutiérrez Ojeda y Dr. Jaime Collado Moctezuma por sus correcciones y sugerencias para mejorar este trabajo.*

*Al M. I. Manuel Martínez Morales y al Dr. Manuel Zavala Trejo por la asesoría recibida en la calibración del modelo.*

---

## CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	ANTECEDENTES .....	2
1.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3	OBJETIVO .....	3
1.4	JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5	CONTENIDO DEL TRABAJO .....	4
II.	ANÁLISIS DE FUNDAMENTOS .....	5
2.1	ECUACIÓN BASE .....	6
2.1.1	DERIVACIÓN DE LA ECUACIÓN BASE .....	6
2.1.2	ECUACIÓN DE BOUSSINESQ.....	9
2.2	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO .....	10
2.2.1	DEFINICIÓN .....	10
2.2.2	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	10
2.2.2.1	Métodos de campo.....	10
2.2.2.2	Valores tabulados y graficados de investigaciones en campo.....	15
2.2.2.3	De relaciones con otras variables .....	19
2.3	RECARGA.....	26
2.3.1	DEFINICIÓN .....	26
2.3.2	TIPOS DE RECARGA.....	26
2.3.3	MÉTODOS PARA ESTIMAR RECARGA.....	27
2.3.3.1	Basado en el balance de agua.....	28
2.3.3.2	Basado en la fluctuación del nivel freático .....	29
2.3.3.4	Basado en modelos de simulación del flujo.....	30
2.4	CONDICIONES LÍMITE .....	31
2.4.1	CONDICIÓN INICIAL.....	31
2.4.2	CONDICIONES DE FRONTERA .....	32
2.4.2.1	Tipo Dirichlet.....	32
2.4.2.2	Tipo Neumann.....	32
2.4.2.3	Tipo Robbins .....	33

---

2.5	MÉTODOS NUMÉRICOS PARA RESOLVER LA ECUACIÓN BASE.....	34
2.5.1	ANALÍTICOS Y NUMÉRICOS.....	34
2.5.1.1	Esquema en diferencias finitas.....	36
2.5.1.2	Tipos de modelos de celda y simulación de fronteras.....	44
III. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....		45
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	46
3.1.1	LOCALIZACIÓN.....	46
3.1.2	CLIMATOLOGÍA.....	47
3.1.2.1	Tipo de clima.....	47
3.1.2.2	Datos meteorológicos.....	47
3.1.3	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	50
3.2	ZONA AGRÍCOLA.....	52
3.2.1	SUPERFICIE SEMBRADA Y VOLUMEN DE AGUA BOMBEADO..	54
3.2.2	PATRÓN DE CULTIVOS.....	55
3.2.2.1	Evolución del patrón de cultivos.....	55
3.2.2.2	Valor de la producción del año agrícola 2000-2001.....	57
3.2.2.3	Distribución de los cultivos por zona.....	58
3.2.2.4	Superficie de cultivo por sistema de riego.....	59
3.2.3	REQUERIMIENTO DE RIEGO DE LOS CULTIVOS.....	59
3.2.4	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR BOMBEO.....	62
3.2.4.1	Eficiencia electromecánica.....	62
3.2.4.2	Eficiencias de riego.....	63
3.2.4.3	Calidad del agua de los pozos.....	65
3.2.5	TENENCIA DE LA TIERRA.....	66
3.3	FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	68
3.3.1	FISIOGRAFÍA.....	68
3.3.2	GEOMORFOLOGÍA.....	68
3.3.2.1	Caracterización geomorfológica.....	68
3.3.2.2	Unidades hidrogeomorfológicas.....	69
3.4	GEOLOGÍA.....	71
3.4.1	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	71
3.4.2	LITOESTRATIGRAFÍA.....	71

---

---

3.4.2.1	Precámbrico.....	71
3.4.2.2	Paleozoico.....	71
3.4.2.3	Mesozoico.....	72
3.4.2.4	Terciario.....	74
3.4.2.5	Cuaternario.....	74
3.4.3	GEOLOGÍA DEL SUBSUELO.....	77
3.4.4	AMBIENTE DE DEPÓSITO.....	79
3.5	HIDROGEOLOGÍA.....	81
3.5.1	HIDROESTRATIGRAFÍA.....	81
3.5.1.1	Unidad hidroestratigráfica A.....	81
3.5.1.2	Unidad hidroestratigráfica B.....	81
3.5.1.3	Unidad hidroestratigráfica C.....	81
3.5.1.4	Unidad hidroestratigráfica D.....	81
3.5.1.5	Unidad hidroestratigráfica E.....	82
3.5.1.6	Unidad hidroestratigráfica F.....	82
3.5.2	CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA.....	83
3.5.2.1	Rendimiento específico.....	83
3.5.2.2	Conductividad hidráulica.....	84
3.5.3	HIDROMETRÍA DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	85
3.5.4	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO.....	87
3.5.5	SISTEMA DE FLUJO .....	93
IV.	MODELO CONCEPTUAL Y BALANCE DE AGUA.....	94
4.1	MODELO CONCEPTUAL.....	95
4.2	BALANCE DE AGUA.....	97
4.2.1	CAMBIO DE VOLUMEN DE AGUA EN EL ALMACENAMIENTO..	97
4.2.2	EVALUACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA AL ACUÍFERO.....	98
V.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	103
5.1	SELECCIÓN DEL ÁREA A MODELAR.....	104
5.2	TIPO DE MODELO .....	105
5.3	CAPAS DEL MODELO.....	105

---

---

5.4	DISCRETIZACIÓN ESPACIAL.....	105
5.5	DISCRETIZACIÓN TEMPORAL.....	106
5.6	PARÁMETROS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	107
5.6.1	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA .....	107
5.6.2	ALMACENAMIENTO ESPECIFICO, RENDIMIENTO ESPECIFICO Y POROSIDAD.....	107
5.6.3	CONDICIÓN INICIAL.....	107
5.6.4	CONDICIONES DE FRONTERA.....	108
5.6.5	RECARGA Y DESCARGA AL SISTEMA.....	109
5.7	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	111
5.7.1	CALIBRACIÓN DE LAS CARGAS HIDRÁULICAS.....	112
5.7.2	CALIBRACIÓN DEL BALANCE DE AGUA.....	119
5.7.2.1	Balance de agua calculado por el modelo.....	120
VI.	ESCENARIOS DE MANEJO DEL ACUÍFERO.....	125
61	INTRODUCCIÓN.....	126
6.2	SITUACIÓN ACTUAL.....	129
6.3	ESCENARIO UNO: CANCELACIÓN DE POZOS.....	131
6.4	ESCENARIO DOS: REDUCCIÓN DEL BOMBEO POR POZO.....	136
6.5	ESCENARIO TRES: ELIMINACIÓN DE CULTIVOS ANUALES Y TECNIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO .....	138
6.5.1	ESCENARIO 3-1: CANCELACIÓN DE CULTIVOS ANUALES .....	139
6.5.2	ESCENARIO 3-2: BAJO CONDICIONES DE RIEGO TECNIFICADO	144
6.6	RESUMEN DE ESCENARIOS.....	147
6.6.1	Evolución del nivel freático.....	147
6.6.2	Tenencia de la tierra.....	149
6.6.3	Patrón de cultivos.....	150
VII.	CONCLUSIONES .....	155
VIII.	RECOMENDACIONES.....	159
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	161
X.	ANEXOS.....	166

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Volumen elemental representativo (REV) usado en la derivación de la ecuación gobernante. Se muestran los componentes de flujo a través del eje coordenado $y$ .....	7
2.2	Esquema que muestra un abatimiento inicial del nivel freático $\Delta$ y el correspondiente drenaje transitorio del perfil del contenido de agua .....	21
2.3	Los diferentes mecanismos de recarga en un área (semi-)árida.....	27
2.4	Celda $i,j,k$ e índices para las seis caras adyacentes.....	37
2.5	Flujo dentro de la celda $i,j,k$ desde la celda $i,j-l,k$ .....	37
2.6	Representación conceptual de la filtración del cauce de un río en una celda.....	40
2.7	Hidrograma correspondiente a la celda $i,j,k$ .....	41
3.1	Croquis de localización.....	46
3.2	Ubicación de las estaciones meteorológicas y de las cuatro regiones climatológicas .....	49
3.3	Características hidrológicas.....	51
3.4	Ubicación de las ocho zonas en el Distrito .....	53
3.5	Periodos de desarrollo de los cultivos.....	60
3.6	Características geomorfológicas.....	69
3.7	Unidades hidrogeomorfológicas.....	70
3.8	Características geológicas de Caborca.....	76
3.9	Características de las secciones geológicas.....	78
3.10	Basamento del acuífero de Caborca.....	80
3.11	Distribución de la Conductividad hidráulica.....	84
3.12	Distribución de los pozos de bombeo.....	87
3.13	Distribución de los pozos con muestreo de la profundidad del nivel estático.....	89
3.14	Elevación del nivel estático para el año 1996 en m.s.n.m. ....	90
3.15	Elevación del nivel estático para el año 1997 en m.s.n.m. ....	90
3.16	Elevación del nivel estático para el año 1998 en m.s.n.m. ....	91
3.17	Elevación del nivel estático para el año 1999 en m.s.n.m. ....	91
3.18	Elevación del nivel estático para el año 2000 en m.s.n.m. ....	92
3.19	Elevación del nivel estático para el año 2001 en m.s.n.m. ....	92
3.20	Sistema de flujo del acuífero de Caborca en el año de 2001. ....	93

---

4.1	Esquematización del modelo conceptual .....	96
4.2	Distribución inicial del flujo de entrada subterráneo horizontal.....	101
5.1	Límites del acuífero de Caborca.....	104
5.2	Discretización espacial del acuífero de Caborca.....	106
5.3	Condición inicial de cargas hidráulicas en m.s.n.m. ....	108
5.4	Localización de las condiciones de frontera.....	109
5.5	Distribución de las zonas con recarga vertical.....	110
5.6	Distribución de la conductividad hidráulica en el acuífero de Caborca.....	112
5.7	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1997 en m.s.n.m. ....	114
5.8	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1998 en m.s.n.m. ....	115
5.9	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1999 en m.s.n.m. ....	116
5.10	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2000 en m.s.n.m. ....	117
5.11	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2001 en m.s.n.m. ....	118
5.12	Distribución final del flujo de entrada subterráneo horizontal.....	119
6.1	Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario actual, en m.s.n.m. ....	130
6.2	Distribución de pozos con derechos de extracción, con derechos de extracción a cancelar y sin gasto de extracción para el escenario uno.....	133
6.3	Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario uno, en m.s.n.m. ....	135
6.4	Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario dos, en m.s.n.m. ....	137
6.5	Distribución de pozos con derechos de extracción, con derechos de extracción a cancelar y sin gasto de extracción para el escenario tres.....	141
6.6	Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario 3-1, en m.s.n.m. ....	143
6.7	Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2011, en m.s.n.m., bajo el escenario tres sin tecnificación de los sistemas de riego y con tecnificación de los sistemas de riego.....	146
6.8	Comparación de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2011 obtenidas por cada escenario, en m.s.n.m. ....	148

---

---

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

2.1	Relación general entre el rendimiento específico y la conductividad hidráulica ..	17
2.2	Relaciones entre el tamaño medio de los granos y la cantidad de agua almacenada en los terrenos aluviales de los grandes valles.....	18
2.3	El triángulo de clasificación de texturas para materiales no consolidados muestra la relación entre el tamaño de las partículas y el rendimiento específico.....	19
3.1	Evolución de la superficie sembrada y el volumen de agua bombeado desde el año agrícola 1975-1976 al 2000-2001.....	54
3.2	Número de usuarios por tipo de tenencia de la tierra.....	66
3.3	Superficie de riego por tipo de tenencia de la tierra.....	67
3.4	Número de aprovechamientos por tipo de tenencia de la tierra.....	67
3.5	Evolución de la profundidad media del nivel estático en el acuífero de Caborca.....	88
4.1	Relación entre la recarga total y la extracción por pozos de bombeo.....	99
5.1	Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1997.....	113
5.2	Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1998.....	114
5.3	Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1999.....	115
5.4	Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año 2000.....	116
5.5	Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año 2001.....	117
6.1	Evolución del nivel estático bajo cada uno de los escenarios.....	147
6.2	Aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.....	149
6.3	Porcentaje de los aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.....	150

---

## ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Valores de rendimiento específico ( $S_y$ ) .....	15
2.2	Rango de valores de rendimiento específico ( $S_y$ ) en función al tipo de material...	16
3.1	Coordenadas y años de registro de las estaciones meteorológicas convencionales y de las agrometeorológicas automatizadas de la zona.....	48
3.2	Promedios mensuales de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación para las cuatro regiones climatológicas .....	48
3.3	Humedad relativa, horas luz y velocidad del viento.....	49
3.4	Evapotranspiración de referencia de las cuatro regiones climatológicas.....	50
3.5	Regiones que componen las ocho zonas.....	53
3.6	Superficie sembrada mediante las dos fuentes de agua para riego: Bombeo y gravedad.....	55
3.7	Patrón de cultivos para los ciclos agrícolas de 1996-1997 al 2000-2001.....	56
3.8	Valor de la producción del año agrícola 2000-2001.....	57
3.9	Superficie de cada cultivo por zona para el ciclo agrícola 2000-2001.....	58
3.10	Superficie de cultivo por sistema de riego para el ciclo agrícola 2000-2001.....	59
3.11	Duración de las etapas de desarrollo de los cultivos.....	61
3.12	Valores de los coeficientes de cultivo.....	61
3.13	Requerimiento de riego de los cultivos por zona.....	62
3.14	Valores promedios de la eficiencia electromecánica.....	62
3.15	Valores promedios de la eficiencia de conducción, de aplicación y global.....	63
3.16	Evolución de la eficiencia global del año 1997 al 2002.....	64
3.17	Valores promedios de la eficiencia de aplicación y global.....	65
3.18	Relaciones hidrogeomorfológicas de las unidades definidas.....	70
3.19	Volumen total de extracción de los pozos con registro.....	85
3.20	Volumen total de extracción de los pozos a modelar.....	86
3.21	Volumen total de extracción por zona.....	86
3.22	Valores característicos de la profundidad del nivel estático y abatimiento medio anual.....	88

---

4.1	Valores del cambio de volumen de agua en el almacenamiento ( $\Delta V$ ).....	98
4.2	Volumen de recarga total al acuífero.....	98
4.3	Recarga vertical al acuífero de acuerdo a la zona.....	100
4.4	Volumen de percolación por retorno de riego (Pr).....	102
4.5	Balance de agua inicial.....	102
5.1	Valores de percolación por riego para cada una de las zonas.....	110
5.2	Valores de la recarga vertical por zona, para cada celda de recarga.....	111
5.3	Valores del error medio, error medio absoluto y desviación estándar de las cargas calculadas y observadas por año .....	118
5.4	Balance de agua calculado con el modelo.....	124
6.1	Tiempo de vida del acuífero y profundidad del nivel estático promedio por zonas.....	126
6.2	Costo de energía para diferentes profundidades del nivel dinámico.....	127
6.3	Balance de agua calculado por el modelo bajo la condición de explotación actual.....	129
6.4	Número de pozos con derechos de extracción a cancelar y el gasto de extracción por zona bajo el escenario uno .....	133
6.5	Balance de agua calculado por el modelo para el escenario uno.....	134
6.6	Balance de agua calculado por el modelo para el escenario dos.....	136
6.7	Patrón de cultivos bajo el escenario tres.....	138
6.8	Requerimiento de riego de los cultivos por zona.....	139
6.9	Volumen de agua requerido por los cultivos para el escenario tres.....	139
6.10	Volumen de agua bombeada por zona y número de pozos para el escenario tres.	140
6.11	Balance de agua calculado por el modelo para el escenario 3-1.....	142
6.12	Volumen de agua requerido por los cultivos para el escenario tres con sistema de riego tecnificado.....	144
6.13	Volumen de agua bombeada por zona y número de pozos para el escenario tres.	144
6.14	Balance de agua calculado por el modelo para el escenario 3-2.....	145
6.15	Recuperación promedio del nivel freático bajo los diferentes escenarios.....	147
6.16	Aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.....	149

---

---

6.17	Porcentaje de los aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.....	149
6.18	Patrón de cultivos 1: Mediante la reducción de la superficie sembrada de todos los cultivos.....	151
6.19	Patrón de cultivos 2: Mediante la conservación de los cultivos más rentables.....	152
6.20	Patrón de cultivos 3: Mediante el análisis de los beneficios de cada cultivo.....	154

---

## RESUMEN

El Distrito de Riego No. 037, Altar-Pitiquito-Caborca localizado en el Valle de Caborca, Sonora tiene como principal fuente de abastecimiento de agua al acuífero subyacente. Las extracciones del acuífero ( $552 \text{ Mm}^3$ ) son mayores a la recarga natural ( $146 \text{ Mm}^3$ ), lo que ha ocasionado un abatimiento promedio anual de 0.76 m. En el presente trabajo se llevó a cabo la simulación numérica del flujo subterráneo de dicho acuífero, para analizar diferentes alternativas de explotación que garanticen el equilibrio entre la recarga y la descarga para alcanzar su estabilización.

Se construyó el modelo usando el paquete computacional MODFLOW, que se calibró para el periodo de 1996 a 2001 y se modelaron cuatro escenarios de explotación para el periodo de 2002 a 2011: i. Bajo la explotación existente en el ciclo 2000-2001; ii. Cerrando pozos de bombeo; iii. Reduciendo los gastos de extracción de los pozos y iv. Mediante la tecnificación de los sistemas de riego en cultivos perennes y la eliminación de cultivos anuales.

Los resultados indican que al continuar la explotación actual (2000-2001) se seguirá abatimiento el nivel freático a niveles incosteables para uso agrícola, los otros tres escenarios se consideran como alternativas de explotación técnicamente viables al aproximarse la extracción con la recarga. Como recomendación general, se deberían tecnificar los sistemas de riego, eliminar los cultivos de bajo rendimiento económico y los de alto requerimiento hídrico, como acciones prioritarias para la estabilización del acuífero.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

Debido a la alta variabilidad espacial y temporal de la precipitación en el país y a la escasez de fuentes importantes de agua superficial, ha sido necesaria la explotación del agua subterránea. De acuerdo con la SEMARNAT (2003), el número de acuíferos explotados para el año 2000 fue de 653, distribuidos en todo el territorio nacional. Con una extracción total de  $28.5 \text{ km}^3/\text{año}$  y un volumen de recarga a los acuíferos de  $75 \text{ km}^3/\text{año}$ , lo cual indicaría un balance de agua positivo. Sin embargo, a nivel regional existen zonas con serios problemas de sobreexplotación como es el caso de la región noroeste y norte, las cuales se caracterizan por su aridez debida a la escasa precipitación y alta evaporación.

Dentro de la región noroeste se encuentran 63 acuíferos, 18 de los cuales están sobreexplotados y cinco de ellos presentan además intrusión salina. El acuífero del valle de Caborca es uno de éstos cinco acuíferos y se ubica en la porción nor-occidental del Estado de Sonora. En este valle se localiza el Distrito de Riego No. 037, Altar-Pitiquito-Caborca y comprende parcial o totalmente los municipios de Caborca, Pitiquito, Trincheras y Altar. El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para el riego, destinándose para este fin el 98% del agua que se extrae del acuífero mediante 841 pozos de bombeo, equivalente a una extracción de  $552 \text{ Mm}^3$  por año, ya que el agua superficial disponible es tan solo de  $16 \text{ Mm}^3$  por año, la cual sirve para regar únicamente el 2% de la superficie empadronada por el Distrito.

El nivel de abatimiento promedio en el acuífero del valle de Caborca para los últimos 30 años ha sido de 23 m. Lo anterior resulta preocupante debido a que existen pozos con niveles piezométricos por abajo del nivel del mar, cercanos a la costa, con problemas graves de salinidad.

Se han tomado algunas medidas para reducir el bombeo de agua como la reducción de la superficie sembrada y la tecnificación de los sistemas de riego. Para el año de 1997 se contaban con 5 307 ha con sistemas de riego presurizado mientras que para el 2002 el valor se incrementó al doble con 12 600 ha. En los últimos años se redujo la superficie sembrada, para el ciclo agrícola 1996-1997 se sembraron 36,910 ha mientras que para el 2000-2001 sólo fueron 29,959 ha. Sin embargo, estas medidas no han sido suficientes debido a que la extracción sobrepasa con mucho la recarga de  $146 \text{ Mm}^3$ , por lo que se requiere implementar medidas que garanticen la explotación del acuífero por un prolongado periodo de tiempo, reduciendo los efectos negativos tanto para el acuífero como para la población que depende de su explotación.

## **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los antecedentes muestran que el acuífero de Caborca se encuentra sobreexplotado, al presentarse deficiencias de agua de  $-303.8 \text{ Mm}^3$  para el año 1996-1997 y de  $-117 \text{ Mm}^3$  para el año 2000-2001, por lo que es necesario encontrar la forma más conveniente de reducir las extracciones de tal manera que se disminuyan los abatimientos. Para ello y como primera etapa, en el presente trabajo se realizó la simulación numérica del flujo subterráneo con la finalidad de proponer alternativas para la sostenibilidad del acuífero.

El acuífero se modeló usando el paquete de cómputo MODFLOW, que resuelve el sistemas de ecuaciones que gobiernan el flujo subterráneo empleando un esquema numérico en diferencias finitas centradas en bloques, bajo las condiciones iniciales y de frontera del acuífero. Este paquete es una herramienta adecuada para reproducir las condiciones temporales de un acuífero y para predecir el comportamiento futuro de acuerdo a condiciones de explotación propuestas.

Una vez que se calibró el modelo usando datos actuales observados para el periodo de tiempo del año 1996 al 2001, se analizó el comportamiento del acuífero bajo diferentes escenarios de explotación hasta el año 2011. Se analizaron cuatro escenarios de explotación: 1. Manteniendo la explotación existente en el ciclo 2000-2001; 2. Mediante el cierre de pozos de bombeo; 3. Mediante la reducción de los gastos de extracción de los pozos y 4. Mediante la tecnificación de los sistemas de riego en cultivos perennes y la eliminación de cultivos anuales.

## **1.3 OBJETIVO**

El presente trabajo tuvo por objetivo llevar a cabo la simulación numérica del flujo subterráneo del acuífero del Valle de Caborca, Sonora, para analizar diferentes alternativas de explotación que garanticen el equilibrio entre la recarga y la descarga del acuífero para lograr la estabilización del mismo.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La mala planeación de la explotación del acuífero ha provocado que año con año los niveles piezométricos bajen preocupantemente, haciendo evidente la sobreexplotación, poniendo en peligro a esta importante fuente de agua en el corto o mediano plazo, por lo que es indispensable analizar alternativas de explotación que garantice el equilibrio entre la

recarga y la descarga del acuífero. Si bien se ha modelado el comportamiento del acuífero en otros estudios realizados por la empresa Hidrosistemas Universales reportado en el año 1996 y por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) reportado en el 2002, no se han empleado estos modelos para predecir el funcionamiento del mismo bajo escenarios de explotación que garanticen su equilibrio. Este proyecto busca encontrar alternativas de solución aplicando la simulación predictiva, que de llevarla a cabo se beneficiarán directamente los productores del Distrito de Riego No. 0.37 e indirectamente al ecosistema y a la sociedad en general.

## **1.5 CONTENIDO DEL TRABAJO**

El presente trabajo consta de diez capítulos. El primero de ellos es la introducción, en el cual destaca el objetivo y la justificación del presente trabajo. Posteriormente, se presenta un segundo capítulo denominado Análisis de fundamentos en el cual destaca la derivación de la ecuación base, que permite representar el movimiento de agua en un medio poroso; los métodos para determinar la capacidad de almacenamiento en un medio poroso y la recarga en un acuífero; las condiciones límite que permiten que la ecuación base represente un problema particular; y una descripción de los métodos numérico para resolver la ecuación base. En el tercer capítulo, Caracterización de la zona de estudio, se presentan las características de interés de la zona para el presente trabajo, como lo son, la caracterización agrícola y las características geológicas e hidrogeológicas. En el cuarto capítulo, Modelo conceptual y balance de agua, se presenta el modelo conceptual del acuífero y un balance de agua inicial, lo cual permite la construcción del modelo, presentado como un quinto capítulo. En este quinto capítulo se presentan las características del modelo, así como los resultados, cargas y balance de agua, obtenidos una vez realizada la calibración del mismo. Con el modelo calibrado se pudo realizar la modelación de diferentes escenarios de manejo del acuífero, los cuales se presentan en el capítulo seis. En el capítulo siete se presentan las conclusiones a las que se llegaron una vez realizado el trabajo. En el capítulo ocho se presentan las recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos en el trabajo. En el capítulo nueve se presenta la bibliografía citada. Finalmente, en el capítulo diez se presentan los anexos, destacando las características de los pozos de bombeo.

# II. ANÁLISIS DE FUNDAMENTOS

## 2.1 ECUACIÓN BASE

La ecuación base permite representar la transferencia de agua en un medio poroso como el suelo. La ecuación diferencial base, conocida como ecuación de Boussinesq, resulta de la combinación del principio de conservación de masa y de la ley de Darcy, considerando los supuestos de Dupuit-Forcheimer.

### 2.1.1 DERIVACIÓN DE LA ECUACIÓN BASE

La derivación de la ecuación que gobierna el flujo de agua subterránea es obtenida considerando un cubo de material poroso, con la combinación matemática del balance de agua y la ley de Darcy. El cubo de material poroso debe ser lo suficientemente largo para representar las propiedades del medio poroso, así como lo suficientemente pequeño para que los cambios de carga sean lo suficientemente pequeños. Este cubo es conocido como volumen elemental representativo (REV), cuyas dimensiones son  $\Delta x$   $\Delta y$   $\Delta z$  (figura 2.1). El flujo de agua a través del REV es expresado en términos de flujos ( $q$ ), donde  $q$  es el vector cuya magnitud puede ser expresada en términos de tres componentes:  $q_x$ ,  $q_y$ , y  $q_z$ . Formalmente hablando:

$$q = q_x i_x + q_y i_y + q_z i_z \text{ ----- (2.1)}$$

donde  $i_x$ ,  $i_y$ ,  $i_z$  son vectores unitarios a lo largo de los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

La ecuación de balance de agua o de conservación de masa establece que

$$\text{Flujo de entrada} - \text{Flujo de salida} = \text{Cambio en el almacenamiento} \text{ ----- (2.2)}$$

Considerando el flujo a través del eje  $y$  del REV en la figura 2.1, el flujo de entrada al REV ocurre a través de la cara  $\Delta x$   $\Delta z$  y es igual a  $(q_y)_{\text{entrada}}$ , el flujo de salida es igual a  $(q_y)_{\text{salida}}$ . El volumen de flujo de salida menos volumen de flujo de entrada a través del eje  $y$  es

$$[(q_y)_{\text{entrada}} - (q_y)_{\text{salida}}] \Delta x \Delta z$$

se puede escribir como

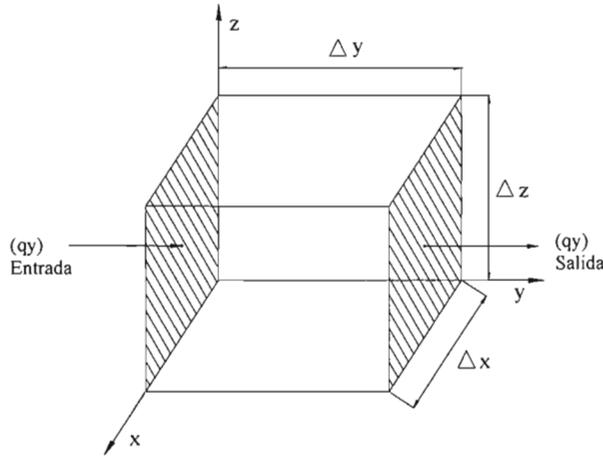
$$\frac{(q_y)_{\text{entrada}} - (q_y)_{\text{salida}}}{\Delta y} (\Delta x \Delta y \Delta z)$$

eliminando los subíndices de entrada y salida, el cambio en el flujo a través del REV a lo largo del eje  $y$  es

$$\frac{\partial q_y}{\partial y} (\Delta x \Delta y \Delta z)$$

Se pueden escribir expresiones similares para el cambio en la proporción de flujo a lo largo de los ejes  $x$  y  $z$ . El cambio total en el flujo es igual al cambio en el almacenamiento y es expresado como

$$\left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) (\Delta x \Delta y \Delta z) = \text{Cambio en el almacenamiento} \text{ ----- (2.3)}$$



**Figura 2.1** Volumen elemental representativo (REV) usado en la derivación de la ecuación gobernante. Se muestran los componentes de flujo a través del eje coordenado  $y$

Es posible la presencia de un sumidero (un pozo de bombeo) o una fuente de agua (un pozo de inyección u otra fuente de recarga) dentro del REV. El flujo de entrada está representado por  $R^* \Delta x \Delta y \Delta z$ . Se definió  $R^*$  como intrínsecamente positiva cuando ésta sea una fuente de agua; por lo tanto, ésta es restada del miembro izquierdo de la ecuación 2.3. El resultado es

$$\left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - R^* \right) (\Delta x \Delta y \Delta z) = \text{Cambio en el almacenamiento} \text{ ----- (2.4)}$$

El cambio en el almacenamiento está representado por el almacenamiento específico  $S_s$ :

$$S_s = - \frac{\Delta V}{\Delta h \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Se considera que  $\Delta V$  es intrínsecamente positivo cuando el cambio de carga  $\Delta h$  es negativo o que el agua es liberada del almacenamiento cuando la carga decrece. El rango del cambio en almacenamiento en el REV es

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = - S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z \text{ ----- (2.5)}$$

Combinando las ecuaciones 2.4 y 2.5 y dividiéndolo entre  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  se llega a la forma final de la ecuación de balance de agua.

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = -S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

Sin embargo esta ecuación es de poco uso porque no se puede cuantificar el gasto  $q$  directamente. Para solucionar este problema se emplea la ley de Darcy, la cual es usada para definir la relación entre  $q$  y la carga ( $h$ ), en donde la variable  $h$  se puede medir directamente. La ley de Darcy en tres dimensiones se escribe de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} q_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ q_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \quad \text{-----} \quad (2.7)$$

Donde  $K_x$ ,  $K_y$  y  $K_z$  son componentes del tensor de la conductividad hidráulica, la cual es un coeficiente de proporcionalidad que depende tanto de las propiedades del medio (porosidad del suelo, distribución del tamaño de poros y geometría de los poros) como del fluido (viscosidad, densidad, etc)

Cuando la ecuación 2.7 se substituye en la ecuación 2.6 se obtiene como resultado la ecuación siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad \text{-----} \quad (2.8)$$

donde.  $R^*$  es en general el término de sumidero o fuente que es intrínsecamente positivo y define el volumen de flujo de entrada al sistema por unidad de volumen de acuífero por unidad de tiempo. Para simular el flujo de salida  $R^* = -W^*$ , más aún, al multiplicar el espesor saturado del acuífero ( $b$ ) por  $R^*$  se obtiene el término de recarga ( $R$ ). Por otro lado, se sabe que en acuíferos confinados el coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) se relaciona con el almacenamiento específico ( $S_s$ ) de la siguiente manera  $S = h S_s$ . Sustituyendo las consideraciones anteriores en la ecuación 2.8 se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad \text{-----} \quad (2.9)$$

La ecuación anterior es la forma más general de la ecuación de flujo saturado, la cual permite el flujo tridimensional, flujo transitorio ( $\frac{\partial h}{\partial t} \neq 0$ ), medio heterogéneo ( $K_x = f(x)$ ) y conductividad hidráulica anisotrópica ( $K_x \neq K_y \neq K_z$ )

## 2.1.2 ECUACIÓN DE BOUSSINESQ

Para simplificar los cálculos sin pérdida de precisión, el flujo saturado en acuíferos puede ser modelado como bidimensional en el plano horizontal. Fitts (2002) menciona que esta modelación puede llevarse a cabo debido a que la mayoría de los acuíferos tienen un aspecto parecido a un pastel delgado, con dimensiones horizontales cientos o miles de veces más grande que su dimensión vertical.

En la mayoría de los acuíferos la mayor parte de la resistencia encontrada a lo largo de una línea de flujo típica es la resistencia horizontal al flujo. Cuando éste es el caso, el sistema de flujo real en tres dimensiones puede ser modelado razonablemente usando un análisis bidimensional, el cual es realizado asumiendo que  $h$  varía con  $x$  y  $y$  pero no con  $z$ , reduciendo las dimensiones espaciales del problema matemático a un plano horizontal. Esta suposición para modelar el flujo del acuífero como un flujo bidimensional es llamada la aproximación de Dupuit – Forchheimer. Fitts (2002).

Dupuit y Forchheimer propusieron la aproximación para flujos en acuíferos libres, pero el concepto se aplica de igual manera para acuíferos confinados, bajo flujo vertical mínimo. La aproximación de Dupuit y Forchheimer se basa principalmente en la eliminación del flujo vertical. En modelos que usan esta aproximación la distribución de cargas en cualquier línea de flujo vertical es hidrostática ( $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$ ).

Anderson y Woessner (1992) sintetizan las suposiciones de Dupuit de la siguiente manera:

- (1) Las líneas de flujo son horizontales y las equipotenciales son verticales.
- (2) El gradiente hidráulico horizontal es igual a la inclinación de la superficie libre e invariante con la profundidad.

Al aplicar las hipótesis anteriores a la ecuación 2.9, resulta la ecuación de Boussinesq para acuíferos libre, la cual se escribe como sigue:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad \text{----- (2.10)}$$

en la que se ha tomado en cuenta que el coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) es igual al rendimiento específico ( $S_y$ ) en acuíferos libres, donde el subíndice  $y$  no tienen nada que ver con la variable espacial “ $y$ ”.

A continuación se presentan los métodos más usados para estimar los parámetros de la ecuación de Boussinesq.

## **2.2 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO**

### **2.2.1 DEFINICIÓN**

La capacidad de almacenamiento de un acuífero esta dada por el almacenamiento o coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) en un acuífero confinado y por el rendimiento específico ( $S_y$ ) en un acuífero libre. Al rendimiento específico también se le conoce como almacenamiento no confinado o porosidad drenable.

De acuerdo con Freeze y Cherry (1979), el almacenamiento de un acuífero confinado de espesor  $b$  se define como el volumen de agua que el acuífero libera del almacenamiento, por superficie unitaria de acuífero, cuando la componente normal de la carga hidráulica se abate una unidad. Mientras que el rendimiento específico se define como el volumen de agua que un acuífero no confinado libera de su almacenamiento por superficie de área unitaria de acuífero por unidad abatida en el nivel freático.

La liberación del almacenamiento en acuíferos libres representa una liberación del agua de los poros del suelo, mientras que la liberación del almacenamiento en acuíferos confinados representa solo los efectos secundarios de la expansión del agua y la compactación de acuíferos causada por cambios en la presión del fluido. El rendimiento específico de un acuífero libre es mayor que el coeficiente de almacenamiento de un acuífero confinado, por lo que es más eficiente la explotación de un acuífero libre.

### **2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO**

Existen diferentes métodos mediante los cuales se puede determinar la capacidad de almacenamiento de un acuífero, dentro de los cuales se encuentran los siguientes.

#### **2.2.2.1 Métodos de campo**

##### **a) Pruebas de bombeo**

Freeze y Cherry (1979) señalan que las pruebas de laboratorio proporcionan valores puntuales de los parámetros geohidrológicos, mientras que las pruebas piezométricas proporcionan valores *in situ* representativos de un pequeño volumen de medio poroso en la vecindad inmediata del piezómetro, sin embargo, las pruebas de bombeo proporcionan mediciones *in situ* que son promediadas sobre un gran volumen de acuífero.

Los valores del rendimiento específico y de la transmisividad para acuíferos libres se obtienen a partir del análisis del comportamiento del acuífero para un periodo de tiempo (horas o días). Healy y Cook (2002) señalan que idealmente un acuífero libre es bombeado por la pantalla del pozo a través de todo el espesor de la zona saturada. Deben localizarse pozos de observación a diferentes distancias de los pozos de bombeo. Éstos pueden penetrar parcial o totalmente al acuífero. Cuando empieza el bombeo, los niveles de agua se abaten rápidamente, los cuales se registran a cada cierto tiempo en cada pozo de observación. De ésta manera se obtienen los datos de abatimiento contra tiempo.

Hay dos métodos que se usan comúnmente para calcular los parámetros de un acuífero a partir de datos de abatimiento contra tiempo. Ambas aproximaciones son gráficas. La primera involucra comparación de curvas en una gráfica doble logarítmica (Método de Theis), y el segundo método involucra el análisis sobre una gráfica semilogarítmica (Método de Jacob).

- *Método de Theis*

Primero considérense datos tomados de un acuífero cuya geometría se aproxime a la configuración idealizada de Theis. La respuesta del abatimiento-tiempo en un piezómetro de observación colocado en dicho acuífero siempre tendrá la forma de la curva de Theis, independientemente de los valores de la transmisividad ( $T$ ) y del rendimiento específico ( $S_y$ ) en el acuífero. Sin embargo, para valores altos de transmisividad el abatimiento alcanzará el punto de observación más rápido que para valores bajos, y el abatimiento empezará a aproximarse a la curva de Theis más rápido. Theis sugirió el siguiente procedimiento gráfico para aprovechar esta propiedad de igualdad de curvas

- Graficar la función  $W(u)$  contra  $1/u$  en un papel doble logarítmico (ésta gráfica de respuesta teórica adimensional es conocida como una curva tipo). Donde  $W(u)$  es conocida como la función de pozo y  $u$  es un parámetro adimensional definido como:

$$u = \frac{r^2 S}{4T(t - t_0)}$$

La función de pozo es llamada matemáticamente como la integral exponencial  $E_1$ , es escrita como

$$\begin{aligned} W(u) &= E_1(u) \\ &= \int_u^\infty \frac{e^{-m}}{m} dm \quad (u < \pi) \end{aligned}$$

La integral exponencial puede ser aproximada con fidelidad usando una expansión en serie truncada como sigue:

$$E_1(u) = -\gamma - \ln u + u - \frac{u^2}{2(2!)} + \frac{u^3}{3(3!)} - \frac{u^4}{4(4!)} + \dots$$

donde  $\gamma = 0.5772157\dots$  es la constante de Euler.

- ii. Graficar los valores de abatimiento contra tiempo medidos,  $h_0-h$  contra  $t$ , en papel doble logarítmico del mismo tamaño y escala de la curva  $W(u)$  contra  $1/u$ .
- iii. Sobreposición de la curva de campo en la curva tipo manteniendo los ejes coordenados paralelos. Desplamamiento de las curvas hasta que la mayoría de los datos observados se ajusten a la curva tipo.
- iv. Selección de un punto de empalme arbitrario y se obtiene el par de valores  $W(u)$ ,  $1/u$ ,  $h_0-h$ , y  $t$  en el punto de empalme. Se calcula  $u$  a partir del valor de  $1/u$ .
- v. A partir de estos valores, junto con la tasa de bombeo  $Q$  y la distancia radial  $r$  desde el pozo al piezómetro, se calcula la transmisividad ( $T$ ) a partir de la siguiente relación.

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi(h_0 - h)} \text{ ----- (2.11)}$$

- vi. Se calcula  $S$  a partir de la relación

$$S = \frac{4uTt}{r^2} \text{ ----- (2.12)}$$

las ecuaciones anteriores son validas para cualquier sistema consistente de unidades.

- *Método de Jacob*

El método semilogarítmico para la interpretación de pruebas de bombeo se basa en el hecho de que la integral exponencial  $W(u)$ :

$$h_0 - h(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \text{ ----- (2.13)}$$

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

puede ser representada para una serie infinita. La solución de Theis se vuelve entonces:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right) \text{ ----- (2.14)}$$

Cooper y Jacob (1946) notaron que para valores pequeños de  $u$  la serie se puede optimizar eliminando los términos despreciables:

$$h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln u) \text{ ----- (2.15)}$$

Sustituyendo la solución de  $u$  de la ecuación 2.12 y notando que  $\ln u = 2.3 \log u$ , que  $-\ln u = \ln 1/u$ , y que  $\ln 1.79 = 0.5772$ , la ecuación anterior queda de la siguiente manera

$$h_0 - h = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S} \text{ -----(2.16)}$$

Ya que  $Q$ ,  $r$ ,  $T$ , y  $S$  son constantes, es claro que  $h_0 - h$  contra  $\log t$  produce una línea recta. Si se considera que  $\Delta h$  es el abatimiento para un ciclo logarítmico de tiempo y que  $t_0$  es la intercepción del tiempo donde la línea de abatimiento intercepta el eje de abatimiento 0, se obtiene de las ecuaciones anteriores que los valores de  $T$  y  $S$ , en unidades consistentes, están dados por:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi \Delta h} \text{ ----- (2.17)}$$

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} \text{ ----- (2.18)}$$

**b) Método del balance de volumen.**

Healy y Cook (2002) presentan dentro de los métodos de campo para determinar el rendimiento específico al método del balance de volumen, el cual combina una prueba de bombeo con un balance de agua del cono de abatimiento:

$$S_y = V_w/V_c \text{ ----- (2.19)}$$

Donde  $V_w$  es el volumen de agua bombeado fuera del sistema para un periodo de tiempo, y  $V_c$  es el volumen del cono de abatimiento (la región entre el nivel freático inicial y final) para el mismo periodo de tiempo.

**c) Método del balance de agua.**

Un balance de agua simple para una cuenca se puede escribir como:

$$P + Q_{entrada} = ET + \Delta S + Q_{salida} \text{ ----- (2.20)}$$

Donde  $P$  es la precipitación más la irrigación;  $Q_{entrada}$  y  $Q_{salida}$  son el flujo de agua superficial y subterránea hacia dentro y fuera del acuífero;  $ET$  es la suma de la evaporación del suelo el agua libre y la transpiración de las plantas;  $\Delta s$  es el cambio en el almacenamiento de agua; y todos los componentes son dados como volúmenes para un mismos periodo de tiempo.

El almacenamiento de agua toma un lugar importante en el comportamiento: almacenamientos superficiales,  $\Delta S^{sw}$  (incluyendo cuerpos de agua así como paquetes de hielo y nieve); la zona no saturada,  $\Delta S^{uz}$ ; y la zona saturada,  $\Delta S^{gw}$ :

$$\Delta S = \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw}$$

Según Healy y Cook (2002) fue Walton (1970) quién propuso usar la ecuación 2.20 en conjunto con la ecuación 2.21 para estimar  $S_y$  durante periodos de elevación de los niveles de agua en meses de invierno. La  $ET$  es normalmente pequeña en esos meses y el suelo está cercano a la saturación, por lo tanto el cambio en el almacenamiento de agua en la zona no saturada es también pequeña. La ecuación del balance de agua puede ser escrita como:

$$S_y = (P + Q_{entrada} - Q_{salida} - ET - \Delta S^{sw} - \Delta S^{uz}) / \Delta h / \Delta t \text{ ----- (2.21)}$$

**d) Prueba de capacidad de campo.**

Healy y Cook (2002) afirman que experimentos de campo para determinar la capacidad de campo ( $CC$ ) a veces son útiles para determinar el rendimiento específico. Las pruebas de capacidad de campo son llevadas a cabo en 2 m de suelo. Las estimaciones de la capacidad de campo podrían ser representativas de la retención específica ( $Sr$ ) de los sedimentos en el nivel freático, es decir  $Sr = CC$ , si el nivel freático no es muy profundo y si los sedimentos son equitativamente uniformes. El procedimiento consiste en saturar un pequeño cubo, permitir que drene, y entonces determinar el contenido de humedad del suelo. Se toma una muestra. Se seca al horno y la capacidad de campo ( $CC$ ) es calculada como:

$$CC = V_w / V_s$$

Donde  $V_w$  es el volumen de agua y  $V_s$  es el volumen de la muestra.

La definición del rendimiento específico en términos de la porosidad ( $n$ ) del suelo y de la retención específica es la siguiente:

$$S_y = n - CC = n - Sr \text{ ----- (2.22)}$$

La retención específica es definida por Bear (1978) como la cantidad de agua retenida en el suelo en contra de la acción de la gravedad cuando se abate el nivel freático.

### 2.2.2.2 Valores tabulados y graficados de investigaciones en campo

Para obtener rangos satisfactorios del rendimiento específico se deben llevar a cabo un gran número de pruebas de campo y laboratorio del área de interés, las cuales son costosas y tediosas, por lo que en ocasiones se toman valores promedios de la capacidad de almacenamiento recomendados por la literatura, ya sea a partir de tablas o de gráficas.

#### a) Valores tabulados

Las tablas relacionan el tipo de material, la textura y la porosidad del suelo. Diversos autores como (Anderson y Woessner, 1992), (Kasenow ,1997<sub>a</sub>), (Healy y Cook, 2002) y Fitts (2002) presentan tablas basándose en investigaciones realizadas por Johnson (1967). Existen algunos autores que presentan sus propias tablas como Health (1989) y Walton (1970) con valores similares a los presentados en la tabla 2.2. Otros autores como Kasenow (1997<sub>b</sub>), Freeze y Cherry (1979), Anderson y Woessner (1992) y Kresic (1997) ofrecen valores puntuales del rendimiento específico y capacidad de almacenamiento basándose en los valores obtenidos en diferentes estudios, ver tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Valores de rendimiento específico ( $S_y$ ).

Autor	$S_y$	S
Kasenow	0.2 (acuífero de grava y arena gruesa) 0.1 (acuífero de arena media a fina)	0.0001 - 0.0005
Freeze y Cherry	0.01 - 0.30	--
Anderson y Woessner	0.1 - 0.4	--
Kresic	0.001 - 0.3	0.00001 - 0.001

**Tabla 2.2** Rango de valores de rendimiento específico ( $S_v$ ) en función al tipo de material.

Material	Número de análisis	Rango	Promedio aritmético
Materiales sedimentarios			
Arenisca (fina)	47	0.02 - 0.40	0.21
Arenisca (media)	10	0.12 - 0.41	0.27
Roca cienosa	13	0.01 - 0.33	0.12
Arena (fina)	287	0.01 - 0.46	0.33
Arena (media)	297	0.16 - 0.46	0.32
Arena (granular)	143	0.18 - 0.43	0.30
Grava (fina)	33	0.13 - 0.40	0.28
Grava (media)	13	0.17 - 0.44	0.24
Grava (granular)	9	0.13 - 0.25	0.21
Limo	299	0.01 - 0.39	0.20
Arcilla	27	0.01 - 0.18	0.06
Roca limosa	32	0 - 0.36	0.14
Material depositado por el viento			
Loess	5	0.14 - 0.22	0.18
Arena eólica	14	0.32 - 0.47	0.38
Roca			
Esquisto	11	0.22 - 0.33	0.26
Toba	90	0.02 - 0.47	0.21

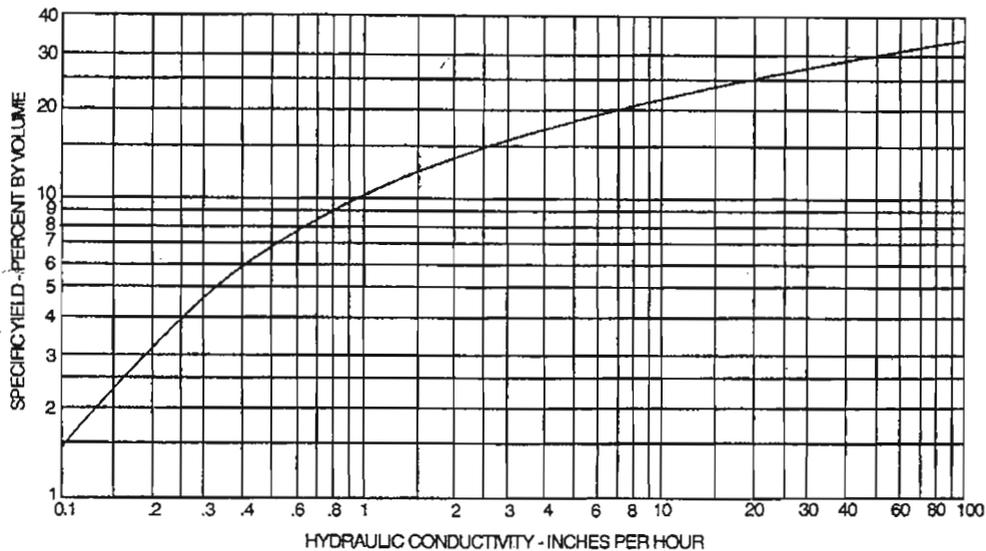
**Fuente:** Anderson y Woessner (1992)

## b) Valores graficados

- *Basada en la conductividad hidráulica*

En el manual de drenaje del Departamento del Interior de los Estados Unidos (USDI, 1984) se menciona que debido a que todos los requerimientos de drenaje están basados en la conductividad hidráulica, fue elaborado un estudio de correlación entre el rendimiento específico y la conductividad hidráulica de muestras inalteradas, obteniendo como resultado la curva mostrada en la gráfica 2.1. La curva está basada en aproximadamente 2000 pruebas de laboratorio en muestras inalteradas de todo tipo de suelos. Los datos usados en el desarrollo de esta curva también incluyen aproximadamente 100 pruebas de conductividad hidráulica en campo contra datos de rendimiento específico obtenidos en laboratorio para muestras inalteradas. Las determinaciones del rendimiento específico y la conductividad hidráulica fueron hechas en cada muestra inalterada y los resultados se encuentran dentro del 10 % de los

mejores valores obtenibles. Un valor del rendimiento específico dentro del 10% es considerado bueno dentro de los límites de precisión para la determinación de los demás factores que deben ser reevaluados en un trabajo de drenaje. Por lo tanto, se recomienda obtener los valores del rendimiento específico empleando la gráfica 2.1 cuando se conozca la conductividad hidráulica.

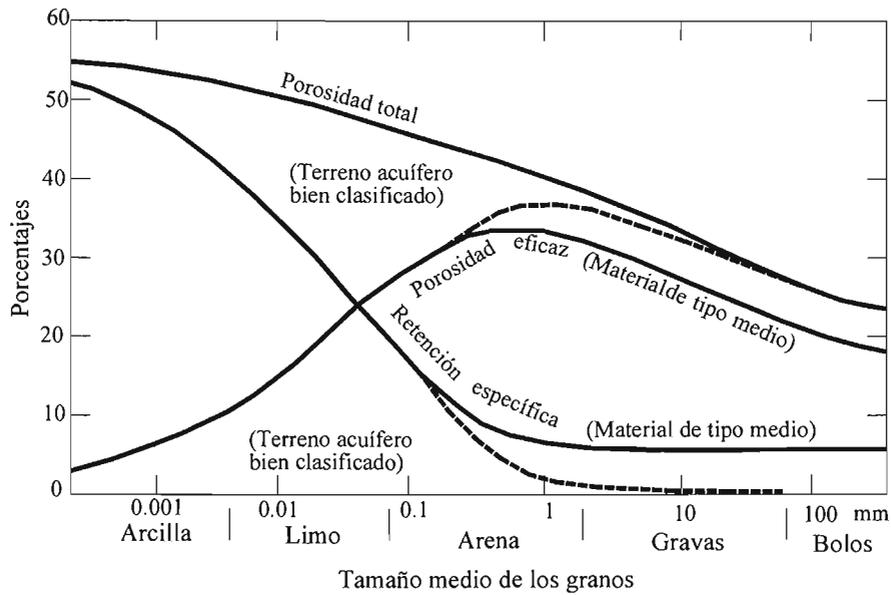


**Gráfica 2.1** *Relación general entre el rendimiento específico y la conductividad hidráulica.*

**Fuente:** *USDI (1984)*

- *Basadas en el tamaño medio de los granos*

Davis y DeWiest (1971) señala que los valores del coeficiente de almacenamiento (porosidad eficaz) puede variar desde cero hasta un 50 por ciento. Aunque los valores más típicos, en el caso de sedimentos finos y arcillas, son inferiores al 10 por ciento, las gravas y arenas gruesas poseen valores generalmente superiores al 20 por ciento, ver gráfica 2.2.

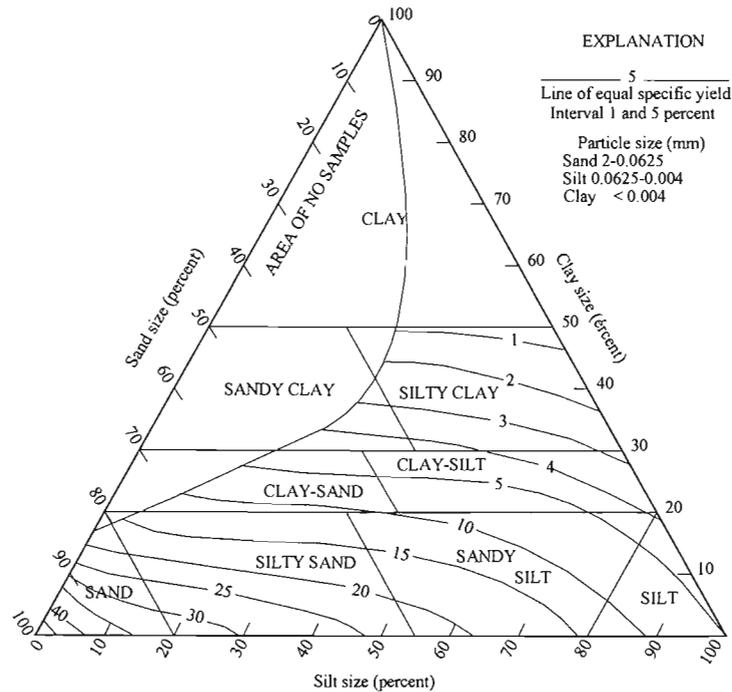


**Gráfica 2.2** Relaciones entre el tamaño medio de los granos y la cantidad de agua almacenada en los terrenos aluviales de los grandes valles.

**Fuente:** Davis y DeWiest (1971)

- En función al triángulo de texturas

Fetter (1994) presenta una relación entre el tamaño de las partículas y el rendimiento específico en el triángulo de clasificación de texturas para materiales no consolidados en función a la clasificación Johnson (1967), ver gráfica 2.3.



**Gráfica 2.3** El triángulo de clasificación de texturas para materiales no consolidados muestra la relación entre el tamaño de las partículas y el rendimiento específico.

**Fuente:** Fetter (1994)

### 2.2.2.3 De relaciones con otras variables

La definición del rendimiento específico (Freeze y Cherry, 1979) es expresada matemáticamente como

$$S_y = \frac{V_w}{A\Delta} \text{ ----- (2.23)}$$

donde  $A$  es un área de acuífero y  $V_w$  es el volumen de agua liberado resultado de la fluctuación del nivel freático  $\Delta$  (abatimiento o recuperación).

Nachabe (2002), menciona que la aplicación del rendimiento específico tiene tres restricciones. La primera, el rendimiento específico en la ecuación (2.23) es un parámetro constante sólo si la respuesta del acuífero es lineal; el volumen de agua liberado es linealmente proporcional a la fluctuación del nivel freático. Reconociendo que el volumen liberado es drenado del perfil de suelo no saturado sobre el nivel freático, el rendimiento específico puede ser sustancialmente menor debido a la franja capilar sobre el nivel freático.

Una segunda restricción es la aplicación del rendimiento específico radica en la naturaleza transitoria de la liberación desde el perfil no saturado sobre el nivel freático. Mientras una fluctuación observada en el nivel freático  $\Delta$  puede algunas veces ser instantánea, el volumen de agua en el suelo  $V_w$ , es liberado gradualmente y el tiempo para drenar el perfil

es controlado por la profundidad del nivel freático y por las propiedades del suelo. Considera que en modelos subterráneos regionales, puede ser usado un valor constante para el rendimiento específico, sólo si el tiempo para drenar el perfil no saturado es menor al paso de tiempo usado para resolver la ecuación de flujo. Finalmente, la falta de linealidad en el rendimiento específico puede aumentar por la histéresis en la retención del agua. El aire encapsulado durante la recarga y la recuperación del nivel freático resultan en valores de rendimiento específicos menores que aquellos observados durante el drenaje; así sea para el mismo volumen  $V_w$  la diferencia en la fluctuación de nivel freático depende si se está recargando o abatiendo el acuífero.

Diferentes autores han obtenido relaciones para calcular el rendimiento específico de acuerdo a diferentes características del acuífero, las cuales se presentan a continuación:

**a) Basado en la profundidad del nivel freático**

Para explicar la dependencia de la profundidad del nivel freático, Duke (1972) introdujo la siguiente expresión para el rendimiento específico, citado por Nachabe (2002):

$$S_y = (n - \theta_r) \left( 1 - \left( \frac{h_a}{d} \right)^\lambda \right) \text{----- (2.24)}$$

donde  $\lambda$  y  $h_a$  son el índice de distribución de poros y la carga de presión de la entrada de aire en el suelo de los modelos de retención de Brooks y Corey (Brooks y Corey, 1964, en Nachabe, 2002),  $d$  es la profundidad del nivel freático,  $n$  es la porosidad y  $\theta_r$  es la retención específica del suelo, el contenido de agua en el suelo que no puede ser drenado por gravedad.

De acuerdo con Nachabe (2002), la expresión 2.24 es válida sólo cuando las fluctuaciones del nivel freático son pequeñas comparadas con la profundidad inicial del nivel freático.

**b) En función al tiempo y para cualquier profundidad del nivel freático inicial**

Nachabe (2002), presenta una solución analítica del rendimiento específico que captura su dependencia con el tiempo. Aplicable a cualquier profundidad del nivel freático inicial, bajo el siguiente desarrollo:

- *Planteamiento del problema*

Se consideró un pozo de observación para medir la fluctuación del nivel freático  $\Delta = d_2 - d_1$ , ver figura 2.2. Se determinó el volumen de agua liberado  $V_w$ , como la evolución del perfil del suelo desde la posición de equilibrio inicial del nivel freático en  $d_1$  a un nuevo perfil de equilibrio del nivel freático en  $d_2$ . Fue usado el modelo de Brooks y Corey (1964) para

describir la retención del agua en el suelo, donde el contenido de agua en equilibrio del no-flujo  $\theta_i(z_i)$  a la elevación  $z_i$  sobre el nivel freático inicial está dada por

$$\frac{\theta(z_i) - \theta_r}{n - \theta_r} = \left( \frac{h_a}{z_i} \right)^\lambda \quad \text{----- (2.25)}$$

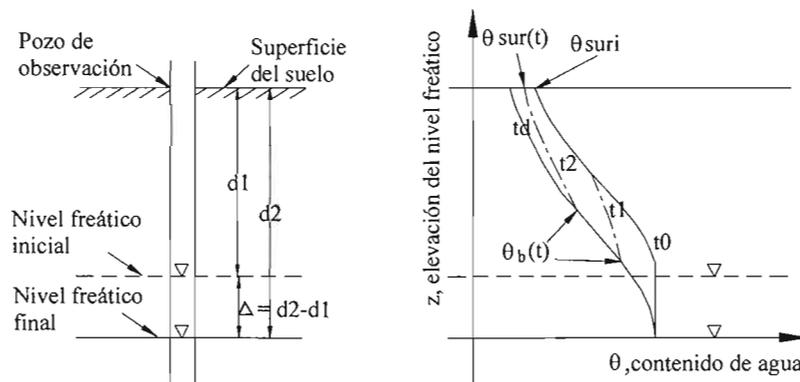
para  $z_i \geq h_a$  y  $\theta(z_i) = n$  y para  $z_i \leq h_a$ . Debido a que la gravedad es la principal fuerza que rige el drenaje, la evolución del contenido de agua es gobernado por la siguiente ecuación diferencial parcial

$$(n - \theta_r) \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \frac{dK}{d\Theta} \frac{\partial \Theta}{\partial z} = 0 \quad \text{----- (2.26)}$$

donde  $z$  es la elevación sobre la nueva posición del nivel freático,  $t$  es el tiempo,  $\Theta = (\theta - \theta_r)/(n - \theta_r)$  es un contenido de agua normalizado y  $K(\Theta)$  es la conductividad hidráulica no saturada, ésta última es usualmente una función altamente no lineal de  $\Theta$  dada como:

$$K(\Theta) = K_s \Theta^u$$

donde  $K_s$  es la conductividad hidráulica saturada y el exponente  $u$  puede ser igual a  $(2+3\lambda)/\lambda$  si es adoptado el modelo de Burdine (Burdine, 1953 en Nachabe, 2002).



**Figura 2.2** Esquema que muestra un abatimiento inicial del nivel freático  $\Delta$  y el correspondiente drenaje transitorio del perfil del contenido de agua.

**Fuente:** Nachabe (2002)

- *Método de las características*

La ecuación 2.26 es altamente no lineal, pero fue obtenida una solución de forma cerrada para una evolución espacial y temporal de  $\Theta(z,t)$  durante el drenaje usando el método de las características. La variación total o diferencial en  $\Theta$  es dada por:

$$d\Theta = \frac{\partial \Theta}{\partial t} dt + \frac{\partial \Theta}{\partial z} dz \quad \text{----- (2.27)}$$

La ecuación 2.26 fue pensada como un vector de desplazamiento en las coordenadas  $z-t-\Theta$  por el método de las características. Por lo tanto, de la ecuación 2.26 y 2.27 resulta:

$$\frac{dt}{n-\theta_r} = \frac{dz}{dK/d\Theta} = \frac{d\Theta}{0} \text{ -----(2.28)}$$

De esta manera la ecuación 2.26 es remplazada por dos ecuaciones diferenciales ordinarias. De acuerdo con la ecuación 2.28 la tasa de movimiento de un contenido de agua constante  $\Theta$  es:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{n-\theta_r} \frac{dK}{d\Theta} = \frac{-uK_s}{n-\theta_r} \Theta^{u-1} \text{ -----(2.29)}$$

El signo negativo de la ecuación 2.29 resulta de tomar  $z$  como positivo hacia arriba (ver Figura 2.2), por lo tanto conforme el tiempo  $t$  incrementa,  $z$  decrece durante el drenaje. Para tratar cada contenido de agua como una onda, la integración de la ecuación 2.29 proporciona la elevación  $z$  de este contenido de agua sobre el nivel freático.

$$z = \xi - \frac{uK_s}{n-\theta_r} \Theta^{u-1} t \text{ ----- (2.30)}$$

donde  $\xi$  es la elevación inicial del contenido de agua sobre el nuevo nivel freático.

- *Evolución del perfil de humedad de agua durante el drenaje*

Para cualquier tiempo  $t$ , el perfil de humedad puede estar hecho por dos segmentos (ver figura 2.2). El primer segmento entre  $n$  y  $\theta_b(z_b, t)$  está compuesto de ondas de humedad que son propagadas a una distancia  $\Delta$  y alcanza su nueva posición de equilibrio sobre el nuevo nivel freático. Con  $\xi - z = \Delta$  la evolución temporal de  $\theta_b(t)$  es calculada de la ecuación 2.30 como:

$$\Theta_b = \frac{\theta_b - \theta_r}{n - \theta_r} = \left( \frac{\Delta(n - \theta_r)}{uK_s} \right)^{1/(u-1)} t^{1/(1-u)} \text{ ----- (2.31)}$$

El segundo segmento está compuesto de ondas de humedad propagadas desde la elevación inicial  $\xi = \Delta + h_a \Theta^{-1/\lambda}$  y las cuales aún no alcanzan su posición de equilibrio.. Remplazando  $\xi$  en la ecuación 2.30 se tiene:

$$z = \Delta + h_a \Theta^{-1/\lambda} - \frac{uK_s}{n - \theta_r} \Theta^{u-1} t \text{ ----- (2.32)}$$

Las ecuaciones 2.31 y 2.32 proporcionan la evolución del perfil del humedad  $\theta(z, t)$  sobre el nivel freático. En particular, el contenido de agua en la superficie del suelo cambia desde el valor inicial  $\Theta_{suri} = (h_a/dl)^\lambda$  a  $\Theta_{sur}(t)$  determinado por la ecuación 2.32 para  $z = d2$ . Matemáticamente,

$$d2 = \Delta + h_a \Theta_{sur}^{-1/\lambda} - \frac{uK_s}{n - \theta_r} \Theta_{sur}^{u-1} t \text{ ----- (2.33)}$$

- *Expresión para el rendimiento específico transitorio*

Matemáticamente la definición del rendimiento específico por Freeze y Cherry (1979) se expresa como:

$$S_y = \frac{V_w}{A\Delta} = \frac{1}{\Delta} \int_{\theta_{sur}}^n (\xi - z) d\theta$$

donde  $\theta_{sur}(t)$  es el contenido de agua en la superficie. La integral se descompone en tres componentes dependientes de  $\xi$ -z. Matemáticamente,

$$S_y = \frac{V_w}{A\Delta} = \frac{n - \theta_r}{\Delta} \left\{ \int_{\theta_{sur}}^{\theta_{suri}} \left( d1 - h_a \Theta^{-1/\lambda} + \frac{uK_s}{(n - \theta_r)} \Theta^{u-1} t \right) d\Theta + \int_{\theta_{suri}}^{\theta_b} \frac{uK_s}{(n - \theta_r)} \Theta^{u-1} t d\Theta + \int_{\theta_{suri}}^{\theta_b} \Delta d\Theta \right\}$$

haciendo la integración se tiene:

$$S_y = \frac{n - \theta_r}{\Delta} \left[ d1(\theta_{suri} - \theta_{sur}) - \frac{\lambda h_a}{\lambda - 1} (\theta_{suri}^{(\lambda-1)/\lambda} - \theta_{sur}^{(\lambda-1)/\lambda}) \right] + \frac{K_s}{\Delta} (\theta_b^u - \theta_{sur}^u) + (n - \theta_r)(1 - \Theta_b) \text{ -----}$$

(2.34)

donde  $\Theta_{suri} = (h_a/d1)^\lambda$ ,  $\theta_b(t)$  está proporcionada por la ecuación 2.31 y  $\theta_{sur}(t)$  es calculada por la ecuación 2.33.

- *Ecuación final del rendimiento específico para fluctuaciones grandes del nivel freático*

Después de ser drenado el perfil,  $\Theta_{sur}(t=td) = \Theta_b(t=td) = (h_a/d2)^\lambda$  lo cual es remplazado en la ecuación 2.34 para obtener la expresión final del rendimiento específico:

$$S_y = \frac{n - \theta_r}{\Delta} \left[ \Delta + \frac{h_a}{1 - \lambda} \left( \left( \frac{h_a}{d1} \right)^{\lambda-1} - \left( \frac{h_a}{d2} \right)^{\lambda-1} \right) \right] \text{ ----- (2.35)}$$

La expresión 2.35, para el cálculo del rendimiento específico, es válida para cualquier profundidad o fluctuación del nivel freático y puede ser usada en modelos de agua subterránea para simular distintos escenarios con diferentes profundidades del nivel freático.

- *Limitaciones*

De acuerdo con Nachabe (2002), se tienen dos limitaciones para el uso de la ecuación 2.35. Primero, la ecuación 2.25 implica que la distribución de la humedad inicial estuvo estrictamente en equilibrio, y que no hay flujo hacia abajo (recarga) o hacia arriba (evapotranspiración) en la zona no saturada. Segundo, se obtuvieron resultados para el drenaje del nivel freático. Considera que para una condición de elevación del nivel freático, las

propiedades del nivel freático deben ser modificadas por la histéresis (aire atrapado) o aire encapsulado abajo del nivel freático, ya que el aire encapsulado puede ser de hasta el 20 % de la porosidad del suelo, lo cual reduce al rendimiento específico.

**c) En función al espesor saturado del acuífero**

Lohman (1972) citado por Kasenow (1997<sub>b</sub>) presenta una relación para estimar la capacidad de almacenamiento (S) de un acuífero confinado en función del espesor del acuífero (b) en pies.

$$S = b (10^{-6}) \text{ ----- (2.36)}$$

Kasenow comparó los resultados obtenidos aplicando la ecuación 2.36 con resultados obtenidos de 90 diferentes pruebas de bombeo realizadas en diferentes sitios. Aplicó una regresión lineal de los datos obtenidos y obtuvo la siguiente ecuación, la cual también puede ser usada para calcular el coeficiente de almacenamiento para un acuífero confinado cuando el espesor saturado es conocido.

$$S = b (2.1 \times 10^{-6}) \text{ ----- (2.37)}$$

**d) En función de la carga**

En la ecuación para modelar el flujo en un acuífero libre o en el drenaje subterráneo, la porosidad drenable es considerada normalmente como un parámetro constante. Pandey, *et al* (1992) realizaron una investigación para establecer una relación funcional empírica entre la porosidad drenable y la carga hidráulica, la cual es escrita como sigue:

$$\frac{S_y}{f_0} = \left[ 1 - \frac{\frac{Qh}{h_0}}{\frac{h}{h_0} + \frac{1 - \frac{h}{h_0}}{Z}} \right] \text{ ----- (2.38)}$$

Donde:

S<sub>y</sub> = porosidad drenable del suelo a cualquier carga (h) del nivel freático.

f<sub>0</sub> = porosidad drenable del suelo correspondiente al nivel freático en la profundidad del dren, donde éste probablemente alcanza su máximo valor.

h<sub>0</sub> = es la carga del nivel freático cuando el nivel freático está al nivel del suelo.

Q = es una constante de valor 1. En cálculos numéricos, tomando el valor de Q =1 hace cero el valor de la porosidad drenable en la superficie y hace imposibles los cálculos numéricos.

$Z =$  constante que determina la forma de la curva de  $S_y/f_0$  contra  $h/h_0$ , la cual puede ser convexa, lineal o cóncava si  $Z < 1$ ,  $Z = 1$  o  $Z > 1$ , respectivamente.

Esta ecuación fue seleccionada por los autores ya que probaron que es muy versátil en la representación de datos obtenidos de experimentos en los que se medía la porosidad drenable contra la carga hidráulica, para diferentes tipos de suelos para valores apropiados de  $Z$ .

La ecuación 2.38 fue aplicada a la ecuación para el flujo de agua subterránea en estado transitorio en una dimensión (Ecuación de Boussinesq):

$$K \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + K(h + d_e) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = S_y(h) \frac{\partial h}{\partial t} \text{ ----- (2.39)}$$

la cual fue resuelta mediante el esquema de diferencias extrapolado de Clark-Nicolson. Con el propósito de tomar en cuenta la convergencia de pérdidas cuando los drenes están por arriba de la capa impermeable, el plano de referencia se cambió desde su posición original (la profundidad del dren) hasta la profundidad de la capa impermeable o inalterable empleando una profundidad equivalente ( $d_e$ ).

Pandey, *et al* (1992) sustituyeron la función de la porosidad drenable fuera del signo diferencial en la ecuación de continuidad, mientras que Gupta, *et al* (1994) sustituyeron la función dentro del signo diferencial, de la siguiente manera:

$$K \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + K(h + d_e) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial t} [(h + d_e) S_y]$$

$$K \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + K(h + d_e) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = S_y(h) \frac{\partial h}{\partial t} + (h + d_e) \frac{\partial S_y(h)}{\partial t} \text{ ----- (2.40)}$$

y la resolvieron mediante el esquema de diferencias extrapolado de Clark-Nicolson

Estos últimos autores encontraron que la predicción del promedio de la carga hidráulica sobre el dominio de flujo, usando el concepto propuesto, mejoró aproximadamente el 70% comparado con el caso de la porosidad drenable constante, mientras que se mejoró de 30% a 50% al compararlo con los resultados obtenidos considerando la porosidad drenable como una función de la carga hidráulica fuera del signo diferencial.

## 2.3 RECARGA

### 2.3.1 DEFINICIÓN

La recarga se refiere al volumen de agua infiltrada que atraviesa el nivel freático y forma parte del sistema de flujo de agua subterránea. La descarga se refiere al agua subterránea que se mueve de forma ascendente a través del nivel freático y descarga directamente a la superficie o a la zona no saturada (Anderson y Woessner, 1992).

La recarga de agua subterránea puede ser definida, según Freeze y Cherry (1979), como la entrada de agua dentro a la zona saturada disponible en la superficie del nivel freático, junto con el flujo lejano asociado al nivel freático dentro de la zona saturada y la descarga como la eliminación de agua de la zona saturada a través de la superficie del nivel freático, junto con el flujo asociado hacia el nivel freático dentro de la zona saturada.

### 2.3.2 TIPOS DE RECARGA

De acuerdo Vries y Simmers (2002) los principales mecanismos de recarga de agua subterránea han sido conceptualmente definidos por Lenner, *et al* (1990) como:

- *Recarga directa*

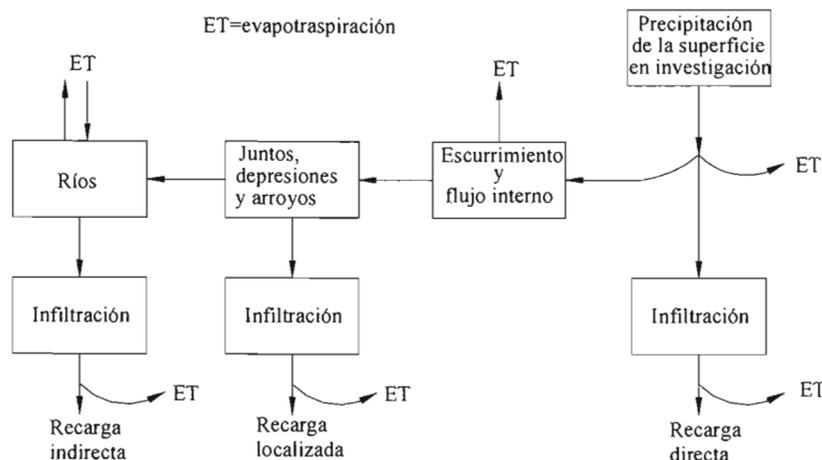
Es el agua agregada al almacenamiento subterráneo una vez satisfecho el déficit de humedad del suelo y la evapotranspiración mediante la precolación vertical directa a través de la zona vadosa.

- *Recarga indirecta*

Percolación hacia el nivel freático de los lechos del flujo del agua superficial.

- *Recarga localizada*

Es la recarga del agua subterránea resultado de la concentración de agua en una superficie horizontal por la ausencia de canales bien definidos.



**Figura 2.3** Los diferentes mecanismos de recarga en un área (semi-)árida.

**Fuente:** Vries y Simmers (2002)

En la figura 2.3 se pueden ver los diferentes mecanismos de recarga. La precolación a un cuerpo de agua subterránea ocurre por uno o más de los siguientes procesos: (1) la precolación difusa, es un flujo no saturado o un frente saturado; (2) flujo de macro poros a través de canales de raíces, grietas por sequedad y fisuras; o (3) flujo preferencial causado por frentes húmedas inestables y diferenciación de las características físicas del suelo dentro del suelo, notablemente entre sedimentos de arenas y arcillas.

### 2.3.3 MÉTODOS PARA ESTIMAR RECARGA

Anderson y Woessner (1992) mencionan que no se tiene un método aplicable universalmente para la estimación de la recarga subterránea, se han propuesto numerosos métodos pero en la mayoría se han encontrado limitaciones. Ante la falta de estimar la distribución espacial de la recarga y descarga los modeladores han asumido tradicionalmente una distribución espacial a través del nivel freático igual a un porcentaje de precipitación media anual, por lo que la estimación de la recarga a veces es ajustada durante la calibración.

Se ha demostrado que existen variaciones significativas espaciales y temporales en la tasa de recarga. Por lo anterior las modelaciones recientes incorporan la variación espacial de la recarga mediante definiciones de zonas de recarga. Generalmente, hay poca información hidrogeológica que se puede usar en la definición de las zonas de recarga y en la asignación de las tasas de recarga por zona, pero la zonificación de la recarga se justifica por ser la base de una buena calibración.

### 2.3.3.1 Basado en el balance de agua

Una metodología para llevar a cabo el balance de aguas subterráneas es considerando la ley de conservación de masa, la cual tiene como principio general lo siguiente:

Entradas – Salidas = Cambio de almacenamiento en el tiempo

$$E - S = CVA/\Delta t \text{ ----- (2.41)}$$

Schict y Walton (1961, en Healy y Cook, 2002) mencionan que los cambios en el almacenamiento de agua subterránea pueden ser atribuidos a la recarga y al flujo subterráneo dentro del acuífero menos el flujo base (descargas subterráneas a arroyos o afloramientos), la evapotranspiración del agua subterránea, y el flujo subterráneo hacia fuera del acuífero. El balance de agua puede escribirse como:

$$R = \Delta S^{gw} + Q^{bf} + ET^{gw} + Q_{off}^{qw} - Q_{on}^{qw} \text{ ----- (2.42)}$$

donde  $R$  es la recarga,  $\Delta S^{gw}$  es el cambio de almacenamiento subterráneo,  $Q^{bf}$  es el flujo base,  $ET^{gw}$  es la evapotranspiración del agua subterránea, y  $Q_{off}^{qw} - Q_{on}^{qw}$  es el flujo subterráneo neto del área de estudio e incluye bombeos; todos los términos son expresados en términos de tasas de cambio.

De manera general, las entradas y salidas de la ecuación pueden representarse por los siguientes términos, (CNA, 1998):

#### ENTRADAS

$I_p$  = Infiltración por lluvia

$I_c$  = Infiltración por ríos

$I_r$  = Infiltración por riegos

$E_h$  = Flujo de entrada subterráneo horizontal

$I_{ca}$  = Infiltración de cuerpos de agua

$E_{sv}$  = Flujo de entrada subterráneo vertical

$I_{fa}$  = Infiltración por fugas del sistema de abastecimiento de agua

$I_a$  = Infiltración por obras de recarga artificial.

#### SALIDAS

$D_c$  = Descarga a corrientes

$E_v$  = Evaporación en áreas con niveles freáticos someros

$B$  = Bombeo

$S_h$  = Flujo de salida subterráneo horizontal

$D_m$  = Descargas por manantiales

$T_r$  = Traspiración por freatofitas o cobertura vegetal nativa

$S_v$  = Flujo de salida subterráneo vertical

### 2.3.3.2 Basado en la fluctuación del nivel freático

El método de la fluctuación del nivel freático para el cálculo de la recarga es descrito por Healy y Cook, 2002, quienes consideran como antecedente un balance de agua subterránea del acuífero.

El método de la fluctuación del nivel freático está basado en la premisa que elevaciones en los niveles del agua subterránea en acuíferos libres son debidas a la recarga de agua provenientes del nivel freático. La recarga es calculada como

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ -----(2.43)}$$

Donde  $h$  es la carga del nivel freático y  $t$  es el tiempo. La derivación de la ecuación 2.43 asume que una vez que el agua llega al nivel freático forma parte del almacenamiento y que todos los otros componentes de la ecuación 2.42 son cero durante el periodo de recarga. Durante el proceso de flujo existe un retraso en el tiempo entre la llegada de agua durante una recarga y la redistribución de esta agua a los otros componentes de la ecuación 2.42. Si el método es aplicado durante este retraso de tiempo, toda el agua es considerada como recarga. Esta suposición es más válida para periodos cortos de tiempo (horas o pocos días), éste es el marco de tiempo para el cual es más apropiada la aplicación del método. El periodo de retraso en el tiempo es crítico en el éxito del método. Si la trayectoria de recarga es muy larga, entonces el método es de poco valor.

Este método para producir un valor para la recarga total requiere la aplicación de la ecuación 2.43 para cada elevación individual del nivel freático. La ecuación 2.43 también puede aplicarse a intervalos de tiempo largos (temporal o anual) para producir una estimación en el cambio del almacenamiento subterráneo,  $\Delta S^{gw}$ . Este valor es considerado a veces como la recarga neta. Para tabular una estimación de la recarga total,  $\Delta h$  es considerada igual a la diferencia entre el pico de la elevación y el punto más bajo de la extrapolación de la curva de recesión antecedente al tiempo del pico. La curva de recesión antecedente es el trazo que el buen higrógrafo podría seguir en la ausencia de la precipitación que produce la elevación. Para una estimación de la recarga neta,  $\Delta h$  es la diferencia de carga entre en segundo y primer tiempo de las mediciones del nivel freático. La diferencia entre la recarga total y neta es igual a la suma de la evapotranspiración del agua subterránea, el flujo base, y el flujo subterráneo neto del sitio.

### **2.3.3.3 Basado en modelos de simulación del flujo**

Sanford (2002) asegura que junto con los métodos usados para hacer mediciones en el campo, investigadores han usado modelos de agua subterránea para estimar la recarga. Si los otros parámetros del modelo son conocidos suficientemente bien, esta aproximación es aplicada para restringir no solo la tasa de la recarga, sino también su distribución y destino cuando muchos puntos de descarga están presentes en el sistema acuífero.

A continuación se presentan las consideraciones que se deben tomar en cuenta para la estimación de la distribución y tasa de la recarga mediante modelos, según Sanford (2002).

#### **a) Estimación de la distribución de la recarga**

Los primeros estudios de modelación del agua subterránea regional indicaron que los modelos pueden ser usados para estimar la distribución de la recarga. Estos modelos se usan principalmente en casos donde la distribución de la permeabilidad y la posición del nivel freático son conocidos. Con el propósito de usar un modelo para estimar una tasa de recarga, se deben conocer las conductividades hidráulicas del sistema acuífero. La tasa de recarga es indeterminada si solo se dispone de la información del nivel freático. La mejor forma de restringir la tasa de recarga es mediante la obtención de medidas de flujo por diferentes tipos. Sin embargo, la distribución de la recarga puede ser estimada sin datos de flujo si se conoce la distribución y el grado de heterogeneidad del acuífero. En este caso, las especificaciones de las condiciones del nivel freático proporcionan una estimación de la distribución de la recarga.

#### **b) Estimación de la tasa de la recarga**

La ley de Darcy declara que el flujo de un fluido, tal como la recarga, en un sistema acuífero puede ser calculado si el gradiente de cargas y las conductividades hidráulicas son conocidas. Sin embargo, las incertidumbres que son usualmente asociadas con la precisión y apropiada de escala de los valores de la conductividad hidráulica obligan al hidrólogo a buscar otras aproximaciones que restrinjan más acertadamente las tasas de recarga. Midiendo las concentraciones de trazadores ambientales que indican la edad del agua subterránea han sido una aproximación cada vez más usada. Los más populares de estos trazadores incluyen tritio, tritio/helio, clorofluorocarbonos, y carbono  $-14$ . Las edades determinadas por las aplicaciones de técnicas representan tiempos integrados del desplazamiento del agua y solutos dentro del sistema acuífero a partir del área de recarga en el punto preciso en el sistema acuífero donde fue tomada la muestra. Estas edades son usadas para determinar las tasas de recarga regional usando un procedimiento de calibración de la modelación del agua subterránea si se dispone de una estimación independiente de la porosidad efectiva. Los modelos de agua subterránea son usados rutinariamente para calcular tasas de filtración así como la distribución de cargas.

Estas tasas son usadas para simular la senda del desplazamiento y asociado con el tiempo éstos son comparados directamente con las edades del agua subterránea.

Zhu (2000) menciona que las tasas de recarga que son usadas en la simulación de flujo subterráneo en acuíferos de escala regional son estimadas mejor empleando trazadores isotópicos ambientales en la zona saturada, donde los numerosos problemas asociados con la zona no saturada pueden ser evitados. Este autor usó el fechado del carbono-14 del agua subterránea de la zona saturada y lo ligó a un modelo numérico de flujo y transporte para determinar los flujos de recarga a una escala regional. El método empleado corrige primero la edad del carbono-14 en el agua subterránea mediante la modelación geoquímica de las interacciones agua-roca. El dato de la edad junto con la carga hidráulica se convierten en los objetivos para la calibración simultánea de las tasas de recarga y conductividad hidráulica, a través de la comparación de edades y cargas observadas con aquellas simuladas por el modelo ligado de flujo y transporte de carbono-14.

## 2.4 CONDICIONES LÍMITE

La ecuación que gobierna el flujo de agua en un medio poroso (2.10) es una ecuación diferencial parcial. Bear (1978), señala que en general las ecuaciones diferenciales parciales por sí mismas no contienen información relacionada con cualquier caso específico de flujo a través de un medio poroso. Por lo tanto, cada ecuación tiene un número infinito de posibles soluciones, cada una de las cuales corresponde a un caso particular de flujo a través de un medio poroso.

Para obtener de ésta multitud de posibles soluciones una solución particular que corresponda a un problema específico de interés, es necesario proporcionar información adicional que no está contenida en las ecuaciones. Esta información es llamada “condiciones límite” las cuales incluyen el estado inicial del sistema (condición inicial) y las condiciones de frontera.

### 2.4.1 CONDICIÓN INICIAL

De acuerdo con Bear (1978) las condiciones iniciales incluyen la especificación de la incógnita  $u$  que se desea calcular en todos los puntos dentro del dominio  $D$  en algún tiempo inicial, usualmente denotado como  $t=0$ . Matemáticamente lo anterior consiste en la especificación de  $u$

$$u = f(x,y,z) \text{ ----- (2.44)}$$

para todos los puntos  $x,y,z$  dentro de  $D$ ;  $f$  es una función conocida, para  $t = 0$ .

## 2.4.2 CONDICIONES DE FRONTERA

En el estudio de un acuífero típico, se pueden definir tres tipos de condiciones de fronteras. Cada una de las cuales pueden actuar en un segmento de toda la frontera de la  $i^{\text{ésima}}$  capa del acuífero, (Aral, 1989).

En términos generales, las condiciones iniciales y de frontera según Lapidus y Pinder (1982) tienen la forma siguiente:

$$\alpha(x, y)u(x, y) + \beta(x, y)u_n(x, y) = \gamma(x, y) \text{ ----- (2.45)}$$

donde  $u_n = \frac{\partial u}{\partial n}$  es una derivada normal a la frontera. Frecuentemente  $\frac{\partial u}{\partial n} = u_x$  o  $u_y$ .

Casos particulares de la ecuación 2.45 son las condiciones de frontera tipo Dirichlet y Neumann.

### 2.4.2.1 Tipo Dirichlet

Una condición de frontera tipo Dirichlet es también llamada condición de frontera de carga piezométrica prescrita o de primer tipo. Lapidus y Pinder (1982) señalan que se obtiene una condición de frontera de este tipo cuando  $\beta = 0$  en la ecuación 2.45.

$$\alpha(x, y)u(x, y) = \gamma(x, y) \text{ ----- (2.46)}$$

Similarmente Aral (1989) define esta condición de frontera como:

$$h_i(x, y, t) = g_i(x, y, t)$$

donde  $g_i(x, y, t)$  es una función conocida. Aunque esta función es continua, por tratarse de un dato de entrada, solo se requirieren valores discretos de esta función en los nodos de frontera a cada cierto intervalo de tiempo. Esta condición de frontera puede ocurrir en la interface del medio poroso saturado y en un cuerpo abierto de agua tal como la rivera de un canal, lago, o río. Este tipo de condición de frontera puede también ser usada para describir condiciones en una frontera de campo lejano, por ejemplo, en un segmento de frontera donde se esperan cambios despreciables en la carga piezométrica.

### 2.4.2.2 Tipo Neumann

Una condición de frontera tipo Neumann es también llamada condición de frontera de flujo preescrito o de segundo tipo. Lapidus y Pinder (1982) señalan que se obtiene una condición de frontera de este tipo cuando  $\alpha = 0$ , en la ecuación 2.45:

$$\beta(x, y)u_n(x, y) = \gamma(x, y) \text{ ----- (2.47)}$$

La definición matemática de esta condición de frontera, según Aral (1989), puede ser dada como:

$$(\mathbf{T}_i \cdot \nabla h_i) \cdot \mathbf{n} = q_i(x, y, t)$$

con  $\mathbf{n}$  definido como el vector normal unitario hacia fuera del dominio,  $q_i(x, y, t)$  es una función conocida definida en la frontera del dominio de la  $i^{\text{ésima}}$  capa del sistema regional,  $\mathbf{T}_i$  es el tensor de transmisividad con componentes principales  $T_{xi}$  y  $T_{yi}$ , y  $\nabla$  es el operador gradiente bidimensional. Una forma especial de esta condición de frontera ocurre frecuentemente en estudios de flujos de agua subterránea. Para fronteras impermeables o para fronteras donde una división de agua es especificada, el flujo a través de la frontera necesita ser definida como cero, en tal caso la función  $q_i(x, y, t)$  asume un valor cero.

### 2.4.2.3 Tipo Robbins

Una condición de frontera tipo Robbins es también llamada condición de frontera de flujo inducido, de tercer tipo o de Radiación de Newton. Lapidus y Pinder (1982) señalan que se obtiene una condición de frontera de este tipo cuando  $\alpha$  y  $\beta$  son diferentes de cero, en la ecuación 2.45:

$$\alpha(x, y)u(x, y) + \beta(x, y)u_n(x, y) = \gamma(x, y)$$

Según Pinder (2002)  $\gamma(x, y)$  es una función especificada valuada a lo largo de la frontera del dominio, y  $\alpha$  y  $\beta$  son funciones especificadas

El mismo autor señala que esta condición de frontera es usada para describir lo que es llamado como condición de filtración cuando es usado un modelo tridimensionales. Así mismo menciona, que también puede ser usada para representar una frontera física que se encuentre a una gran distancia de la frontera del modelo en un modelo en dos o tres dimensiones. La forma usada para ambas de estas condiciones es

$$K \cdot \frac{\partial h(u)}{\partial n} = k(h_0(u) - h(u)) \text{ ----- (2.48)}$$

donde  $h_0$  es la carga externa al modelo y la diferencia de cargas es tomada en la dirección  $\mathbf{n}$ . Por ejemplo, en el caso de una situación de filtración,  $h_0$  podría ser la elevación en un lago localizado sobre la parte superior del modelo. En este caso el coeficiente  $k$  tiene el significado de la resistencia del flujo a través a través de la frontera que separa que separa el cuerpo de agua del acuífero. Alternativamente,  $h_0$  podría ser considerado como la carga en el acuífero a cierta distancia de la frontera. En este caso, el coeficiente  $k$  puede ser usado como un

substituto para la distancia de la localización relativa de  $h_0$  a frontera del dominio, que es,  $k \equiv \frac{K}{L}$ , donde  $L$  es la distancia de la frontera del modelo a la frontera real donde  $h_0$  es observada.

En el presente trabajo se identificaron las condiciones límites del acuífero para obtener la solución de la ecuación que gobierna el flujo de agua en un medio poroso correspondiente al acuífero de Caborca. Se identificó la condición inicial del acuífero así como dos tipos de condiciones de frontera; la de tipo Dirichlet y la de Neumann. Su descripción se presenta en el capítulo “Construcción del Modelo”.

## **2.5 MÉTODOS PARA RESOLVER LA ECUACIÓN BASE**

### **2.5.1 ANALÍTICOS Y NUMÉRICOS**

De acuerdo con Anderson y Woessner (1992), la ecuación que rige el flujo de agua subterránea (2.9) se puede resolver analíticamente cuando se simplifica asumiendo homogeneidad y flujo en una o dos dimensiones. Excepto para aplicaciones a la hidráulica de pozos, las soluciones analíticas para la ecuación de flujo no son aplicaciones prácticas. Las soluciones numéricas son mucho más versátiles y, con la ayuda de las computadoras, son fáciles de usar y aplicar, aún para las más complejas soluciones analíticas.

Kresic (1997) señala que en los modelos numéricos el área de interés es subdividida en muchas áreas pequeñas (llamadas celdas o elementos) y la ecuación de flujo de agua subterránea es resuelta para cada celda considerando comúnmente su balance de agua. La solución de un modelo numérico consiste en determinar la distribución de las cargas hidráulicas en los puntos que representan las celdas individuales. Estos puntos pueden ser colocados en los centros de una celda, en las intersecciones de las celdas adyacentes o en cualquier otro lugar. La ecuación diferencial de flujo para cada celda es reemplazada, aproximadamente, por una ecuación algebraica de tal forma que la totalidad del campo de flujo está representado por  $x$  ecuaciones con  $x$  incógnitas, donde  $x$  es el número de celdas. Al sistema de ecuaciones algebraicas que es resuelto numéricamente, a través de un proceso iterativo, se le llama modelo numérico. Los modelos numéricos son divididos en varios tipos de acuerdo a los métodos empleados para aproximar las ecuaciones diferenciales de flujo y los métodos usados para resolver el sistema resultante de nuevas ecuaciones algebraicas. Los dos modelos de mayor uso son:

- Modelos numéricos de diferencias finitas y
- Modelos numéricos de elemento finito.

Anderson y Woessner (1992) mencionan que la elección entre un modelo de diferencias finitas o elemento finito depende del problema a resolver y de las preferencias del usuario. Las diferencias finitas son fáciles de entender y programar y en general, pocos datos de entrada son necesarios para construir una malla en diferencias finitas. El elemento finito es más capaz para aproximar fronteras de forma irregular que las diferencias finitas estándar (el método de diferencias finitas integradas, sin embargo, pueden manejar fronteras irregulares tan bien como el elemento finito). Es más fácil ajustar el tamaño de los elementos individuales así como la localización de las fronteras con el método de elemento finito, haciendo mucho más fácil probar el efecto del espaciamiento nodal en la solución. Elementos finitos también son capaces de manejar fronteras internas tales como zonas de falla y puede simular puntos fuentes o sumidero, frentes de filtración, y el movimiento del nivel freático mejor que diferencias finitas.

Pinder y Grey (1976) demostraron que el método de diferencias finitas es un caso especial del método de elemento finito. Para problemas que tienen un mallado con puntos nodales regularmente espaciados, el método de elemento finito proporciona el mismo conjunto de ecuaciones algebraicas resultantes de las diferencias finitas. Sin embargo, hay una diferencia fundamental en la filosofía entre estos dos métodos. Los métodos de diferencias finitas calculan un valor para la carga en el nodo, el cual representa la carga promedio para la celda que rodea el nodo. No se hacen suposiciones relacionadas con la forma de la variación de la carga de una celda a otra. Por otro lado, el elemento finito define con precisión la variación de la carga dentro de un elemento como el valor medio de la interpolación de las funciones base. Las cargas son calculadas en los nodos por comodidad pero las cargas son definidas en todas partes mediante el promedio de las funciones base.

Kresic (1997) señala que ambos tipos de modelos tienen sus ventajas y desventajas y para ciertos problemas uno podría ser más apropiado que otro. Sin embargo, debido a su diseño y comprensión más fácil y a que tiene un requerimiento matemático mucho menor, los modelos en diferencias finitas han prevalecido en la práctica hidrogeológica. Además, muchos excelentes modelos en diferencias finitas han sido desarrollados por el departamento de Estudios Geológicos de los Estados Unidos (USGS) y son del dominio público, lo cual asegura su más amplio uso. Uno de éstos modelos es el MODFLOW (“A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model”) elaborado por McDonald y Harbaugh en 1988. MODFLOW es probablemente el modelo más ampliamente usado, probado y verificado hoy en día y se ha convertido en el estándar de la industria gracias a su

versatilidad y a una estructura abierta: Subrutinas ampliamente independientes que son llamadas “módulos” son agrupadas en “paquetes” los cuales tratan con las características específicas a ser modeladas. Nuevos módulos y paquetes pueden ser agregados fácilmente al programa sin modificar los paquetes existentes o el código principal.

**2.5.1.1 Esquema en diferencias finitas**

El desarrollo de la ecuación de flujo de agua subterránea en la forma de diferencias finitas es explicado por McDonald y Harbaugh (1988), quienes parten de la aplicación de la ecuación de continuidad: la suma de todos los flujos de entrada y salida de una celda deben ser igual a la tasa de cambio en el almacenamiento dentro de la celda. Suponiendo que la densidad de flujo agua es constante, la ecuación de continuidad expresando el balance de flujo para una celda es

$$\sum Q_i = S_S \Delta h / \Delta t \quad \text{-----} \quad (2.49)$$

donde

$Q_i$  es la tasa de flujo dentro de la celda ( $L^3t^{-1}$ );

$S_S$  es el almacenamiento específico ( $L^{-1}$ );

$\Delta V$  es el volumen de la celda ( $L^3$ ); y

$\Delta h$  es el cambio de la carga para un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

El término del lado derecho es equivalente al volumen de agua tomado del almacenamiento sobre un intervalo  $\Delta t$  dado un cambio en la carga  $\Delta h$ . La ecuación (2.49) es establecida en términos de la entrada y la ganancia en el almacenamiento. El flujo de salida y las pérdidas son representados definiendo el flujo de salida como un flujo de entrada negativo y la pérdida como una ganancia negativa.

La figura 2.4 representa una celda  $i,j,k$  y seis celdas de acuífero adyacentes  $i-l,j,k$ ;  $i+l,j,k$ ;  $i,j-l,k$ ;  $i,j+l,k$ ;  $i,j,k-l$ ; y  $i,j,k+l$ . Para simplificar el desarrollo, los flujos son considerados positivos si entran a la celda  $i,j,k$ . De ésta manera el flujo dentro de la celda  $i,j,k$  en la dirección de las filas desde la celda  $i,j-l,k$  (figura 2.5) es dada por la ley de Darcy como

$$q_{i,j-l/2,k} = KR_{i,j-l/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j-l,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-l/2}} \quad \text{-----} \quad (2.50)$$

donde

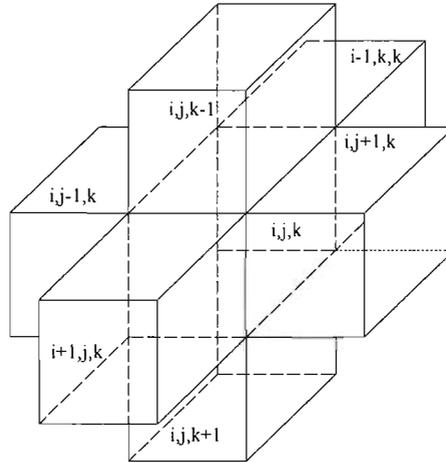
$h_{i,j,k}$  es la carga en el nodo  $i,j,k$ , y  $h_{i,j-l,k}$  en el nodo  $i,j-l,k$ ;

$q_{i,j-l/2,k}$  es el volumen de descarga de fluido a través de la cara entre las celdas  $i,j,k$  y  $i,j-l,k$  ( $L^3t^{-1}$ );

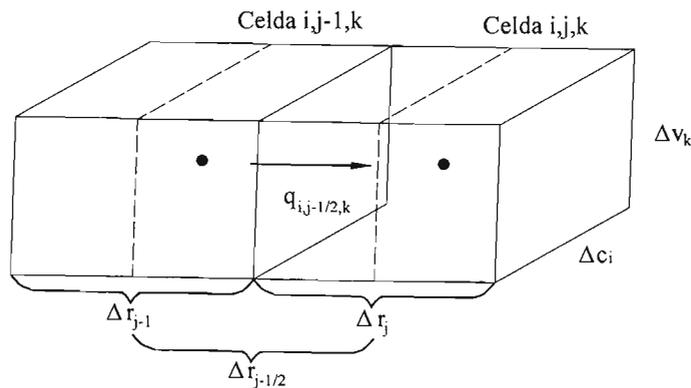
$KR_{i,j-1/2,k}$  es la conductividad hidráulica a lo largo de la fila entre los nodos  $i,j,k$  y  $i,j-1,k$  ( $Lt^{-1}$ );

$\Delta c_i \Delta v_k$  es el área de la cara de la celda normal a la dirección de la fila y

$\Delta r_{j-1/2}$  es la distancia entre los nodos  $i,j,k$  y  $i,j-1,k$  (L).



**Figura 2.4** Celda  $i,j,k$  e índices para las seis caras adyacentes.



**Figura 2.5** Flujo dentro de la celda  $i,j,k$  desde la celda  $i,j-1,k$ .

Aunque la discusión se ha hecho en términos del flujo dentro de la celda central puede ser erróneo asociar el subíndice  $j-1/2$  de la ecuación 2.50 con un punto específico entre los nodos, por lo que el término  $KR_{i,j-1/2,k}$  de la ecuación 2.50 es la conductividad hidráulica efectiva para toda la región entre los nodos, normalmente calculada como un promedio armónico. Si se procede de esta manera, la ecuación 2.50 proporciona el flujo exacto para el caso del flujo establecido unidimensional, a través de un bloque de acuífero que se extiende desde el nodo  $i,j-1,k$  al nodo  $i,j,k$  y teniendo un área de sección transversal  $\Delta c_i \Delta v_k$ .

Pueden ser escritas expresiones similares aproximando el flujo dentro de la celda a través de las cinco caras restantes, por ejemplo para el flujo en la dirección de las filas a través de la cara entre las celdas  $i,j,k$  y  $i,j+l,k$ ,

$$q_{i,j+1/2,k} = KR_{i,j+1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j+1/2}} \text{-----} (2.51)$$

mientras que en la dirección de la columna, el flujo dentro del bloque a través de la cara frontal es

$$q_{i+1/2,j,k} = KC_{i+1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i+1/2}} \text{-----} (2.52)$$

y el flujo dentro del bloque a través de la cara posterior es

$$q_{i-1/2,j,k} = KC_{i-1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i-1/2}} \text{-----} (2.53)$$

Para la dirección vertical, el flujo de entrada a través de la cara inferior es

$$q_{i,j,k+1/2} = KV_{i,j,k+1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k+1/2}} \text{-----} (2.54)$$

mientras que el flujo de entrada a través de la cara superior está dado por

$$q_{i,j,k-1/2} = KV_{i,j,k-1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k-1/2}} \text{-----} (2.55)$$

Cada una de las ecuaciones de la 2.50 a la 2.55 expresa el flujo de entrada a través de una cara de la celda  $i,j,k$  en términos de cargas, dimensiones del mallado y conductividad hidráulica. La notación se puede simplificar combinando las dimensiones de la malla y la conductividad hidráulica dentro de una sola constante, llamada la “conductancia hidráulica” o simplemente la “conductancia” (la conductancia es el producto de la conductividad hidráulica y el área de sección transversal del flujo dividido por la longitud de la línea de flujo, es este caso la distancia entre los nodos). Por ejemplo,

$$CR_{i,j-1/2,k} = \frac{KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k}{\Delta r_{j-1/2}} \text{-----} (2.56)$$

donde

$CR_{i,j-1/2,k}$  es la conductancia en la fila  $i$  y la capa  $k$  entre los nodos  $i,j-1,k$  y  $i,j,k$  ( $L^2t^{-1}$ ).

Sustituyendo la conductancia de la ecuación 2.56 dentro de la ecuación 2.50 se tiene

$$q_{i,j-1/2,k} = CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) \text{-----}(2.57)$$

Similarmente, las ecuaciones 2.50-2.55 pueden escribirse de la siguiente forma

$$q_{i,j+1/2,k} = CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \text{-----}(2.58)$$

$$q_{i-1/2,j,k} = CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \text{-----}(2.59)$$

$$q_{i+1/2,j,k} = CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad \text{-----}(2.60)$$

$$q_{i,j,k-1/2} = CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) \quad \text{-----}(2.61)$$

$$q_{i,j,k+1/2} = CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \quad \text{-----}(2.62)$$

donde las conductancias son definidas análogamente a  $CR_{i,j-1/2,k}$  en la ecuación 2.56.

Las ecuaciones 2.57-2.62 consideran el flujo dentro de la celda  $i,j,k$  desde las seis celdas adyacentes. Para considerar flujos dentro de las celdas provenientes de características o de procesos externos al acuífero, tales como arroyos, drenes, áreas de recarga, evapotranspiración o pozos, se requieren términos adicionales. Estos flujos podrían ser dependientes de la carga en la celda receptora pero independientes para todas las demás cargas en el acuífero, o pueden ser totalmente independientes de la carga en la celda receptora. El flujo desde el exterior del acuífero puede ser representado por la expresión siguiente

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n}h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \quad \text{-----} (2.63)$$

donde

$a_{i,j,k,n}$  representa el flujo desde la  $n$ ésima fuente externa dentro de la celda  $i,j,k$  ( $L^3 t^{-1}$ );

y

$p_{i,j,k,n}$  y  $q_{i,j,k,n}$  son constantes( $L^2t^{-1}$ ) y ( $L^3t^{-1}$ ) respectivamente.

Por ejemplo, si una celda está recibiendo flujo desde dos fuentes, recarga desde un pozo y goteo desde el lecho de un río. Para la primera fuente ( $n = 1$ ), ya que el flujo desde el pozo se supone independiente de la carga.  $p_{i,j,k,1}$  es cero y  $q_{i,j,k,1}$  es la tasa de recarga del pozo. En este caso,

$$a_{i,j,k,1} = q_{i,j,k,1} \quad \text{-----} (2.64)$$

Para la segunda fuente ( $n = 2$ ), se supone que la interconexión entre el acuífero y el arroyo puede ser tratado como una simple conductancia, de tal forma que el goteo es proporcional a la diferencia de cargas entre el lecho del río y la carga en la celda  $i,j,k$ ; por lo tanto se tiene

$$a_{i,j,k,2} = CRIV_{i,j,k,2}(R_{i,j,k} - h_{i,j,k}) \quad \text{-----} (2.65)$$

donde  $R_{i,j,k}$  es la carga en el río ( $L$ ) y  $CRIV_{i,j,k,2}$  es una conductancia ( $L^2t^{-1}$ ) controlando el flujo desde el río dentro de la celda  $i,j,k$ . Por ejemplo, en la situación mostrada en la figura 2.6, la  $CRIV$  podría estar dada por el producto de la conductividad hidráulica vertical del material del lecho del río y el área del lecho del arroyo que cruza la celda, dividido por el grosor del material del arroyo. La ecuación 2.65 puede expresarse como

$$a_{i,j,k,2} = - CRIV_{i,j,k,2}h_{i,j,k} + CRIV_{i,j,k,2}R_{i,j,k} \quad \text{-----}(2.66)$$

El término de la conductancia negativa,  $-CRIV_{i,j,k,2}$ , corresponde a  $p_{i,j,k,2}$  de la ecuación 2.63, mientras que el término  $CRIV_{i,j,k,2}R_{i,j,k}$  corresponde a  $q_{i,j,k,2}$ . Similarmente, todas las fuentes externas pueden ser representadas por una expresión de la forma de la ecuación 2.63.

En general si hay  $N$  fuentes externas o esfuerzos que afectan a una celda, el flujo combinado es representado por

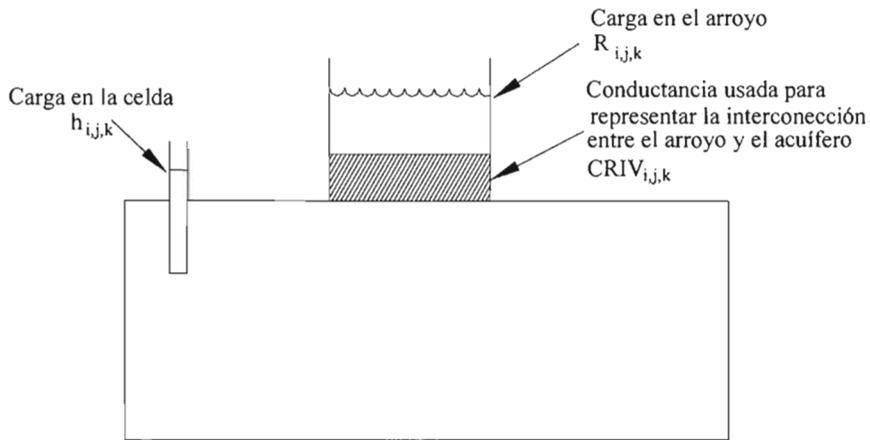
$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad \text{----- (2.67)}$$

definiendo a  $P_{i,j,k}$ , y  $Q_{i,j,k}$  por las expresiones

$$P_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n} \quad \text{y} \quad Q_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n}$$

el flujo general externo de la celda  $i,j,k$  es

$$QS_{i,j,k} = P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \quad \text{----- (2.68)}$$



**Figura 2.6** Representación conceptual de la filtración del cauce de un río en una celda

Aplicando la ecuación de continuidad (2.9) a la celda  $i,j,k$  tomando en cuenta el flujo de las seis celdas adyacentes, como una tasa de flujo externo  $QS$ , se tiene:

$$q_{i,j-1/2,k} + q_{i,j+1/2,k} + q_{i-1/2,j,k} + q_{i+1/2,j,k} + q_{i,j,k-1/2} + q_{i,j,k+1/2} + QS_{i,j,k} = SS_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \quad \text{-- (2.69)}$$

donde

$\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$  es una aproximación en diferencias finitas de la derivada de la carga con respecto al tiempo ( $Lt^{-1}$ );

$SS_{i,j,k}$  representa al almacenamiento específico de la celda  $i,j,k$  ( $L^{-1}$ ); y

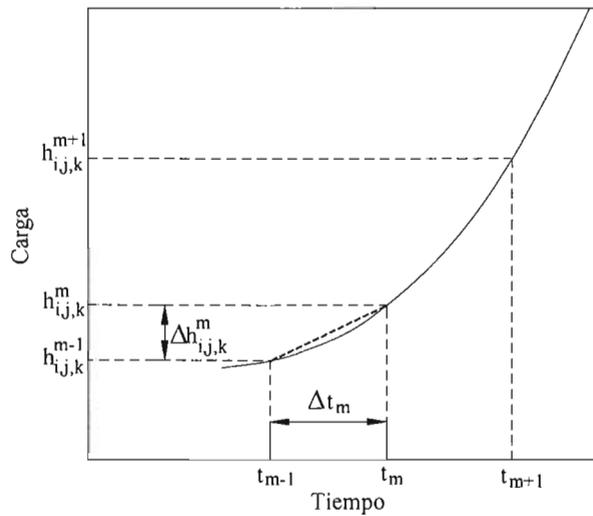
$\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$  es el volumen de la celda  $i,j,k$  ( $L^3$ ).

Las ecuaciones 2.57 a 2.62 y la 2.68 pueden ser sustituidas en la ecuación 2.69 para obtener una aproximación en diferencias finitas de la celda  $i,j,k$  como

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \\
 & + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \\
 & + P_{j,k}h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k}(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \text{-----} (2.70)
 \end{aligned}$$

La aproximación en diferencias finitas de la carga con respecto al tiempo,  $\frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t}$  puede ser expresada en términos de cargas y tiempos. La figura 2.7 muestra un hidrograma de los valores de las cargas en el nodo  $i,j,k$ . En los ejes horizontales se muestran dos valores de tiempo:  $t_m$ , el cual es el tiempo para el cual es evaluado el término del flujo de la ecuación 2.70; y  $t_{m-1}$ , un tiempo previo a  $t_m$ . Los valores de las cargas asociados a estos tiempos son  $h_{i,j,k}^m$  and  $h_{i,j,k}^{m-1}$  respectivamente. Una aproximación de la derivada de la carga en el tiempo  $t_m$  es obtenida mediante la división de la diferencia de la carga  $h_{i,j,k}^m$  y  $h_{i,j,k}^{m-1}$  entre el intervalo de tiempo  $t_m - t_{m-1}$ ; de la siguiente forma

$$\left( \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \right)_m = \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}}$$



**Explicación**

- $t_m$  tiempo al final del paso de tiempo  $m$
- $h_{i,j,k}^m$  carga en el nodo  $i,j,k$  en el tiempo  $t$
- Aproximación en diferencias hacia atras de la pendiente del hidrograma en el tiempo  $t$ .

**Figura 2.7** Hidrograma correspondiente a la celda  $i,j,k$ .

La pendiente del hidrograma, o la derivada en el tiempo, es aproximada usando el cambio de la carga en el nodo sobre el intervalo de tiempo del cual procede, y termina con el

tiempo para el cual el tiempo es evaluado. Esto se conoce como aproximación en diferencias finitas hacia atrás, la cual siempre es numéricamente estable, esto es, el error introducido en cualquier tiempo disminuye progresivamente para los tiempos siguientes. Por esta razón, se prefiere la aproximación en diferencias hacia atrás aunque éste genere un sistema grande de ecuaciones las cuales deben ser resueltas simultáneamente para cada tiempo en el cual las cargas son calculadas.

La ecuación 2.70 puede ser reescrita empleando diferencias hacia atrás la especificar los términos del flujo en  $t_m$ , el final del intervalo, y al aproximar la derivada de la carga en el tiempo sobre el intervalo  $t_{m-1}$  a  $t_m$ ; es decir:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\
 & + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) \text{ ----- (2.71)} \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k}(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t_m - t_{m-1}}
 \end{aligned}$$

La ecuación 2.71 es una ecuación en diferencias hacia atrás que puede ser usada como base para la simulación de la ecuación diferencial parcial de flujo subterráneo. Al igual que en el caso del término  $Q_{i,j,k}$ , los coeficientes de los diferentes términos de carga en la ecuación 2.71 son conocidos, así como la carga en el tiempo  $m-1$ , al inicio del paso de tiempo,  $h_{i,j,k}^{m-1}$ . Las siete cargas en el tiempo  $t_m$ , al final del paso del tiempo, son desconocidas; es decir, son parte de la distribución de cargas a ser determinadas. Por lo tanto la ecuación 2.71 no puede ser resuelta independientemente debido a que ésta representa una sola ecuación con siete incógnitas. Sin embargo, se puede escribir una ecuación de este tipo para cada celda activa en la malla y, debido a que hay solamente una carga desconocida por cada celda, se tiene un sistema de “n” ecuaciones con “n” incógnitas. Tal sistema puede ser resuelto simultáneamente.

El objetivo de la simulación en estado transitorio es generalmente predecir la distribución de cargas en los tiempos sucesivos, dada la distribución inicial de cargas, las condiciones de frontera, los parámetros hidráulicos y esfuerzos externos. La distribución inicial de cargas proporciona un valor de  $h_{i,j,k}$  en cada punto de la malla, es decir provee el valor de la carga al inicio del primero de los pasos de tiempo en los cuales el eje de tiempo ha sido dividido en el proceso de diferencias finitas. El primer paso en el proceso de solución es calcular valores de  $h_{i,j,k}^2$ , que son las cargas en el tiempo  $t_2$  al final del primer paso de tiempo. En la ecuación 2.72, por lo tanto, el superíndice m de la carga es tomado como 2, mientras que el superíndice m-1, el cual aparece en solamente en un término de la carga, es tomado como 1. La ecuación por lo tanto es:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k}^2 - h_{i,j,k}^2) \\
 & + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k}^2 - h_{i,j,k}^2) + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1}^2 - h_{i,j,k}^2) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1}^2 - h_{i,j,k}^2) \text{ ----- (2.72)} \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^2 + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k}(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{(h_{i,j,k}^2 - h_{i,j,k}^1)}{t_2 - t_1}
 \end{aligned}$$

Una ecuación de esta forma es escrita para cada celda de la malla en la cual la carga es libre de variar en el tiempo (celdas de carga variable), y el sistema de ecuaciones es resuelto simultáneamente para las cargas en el tiempo  $t_2$ . Cuando éstas han sido obtenidas, el proceso se repite para obtener las cargas en el tiempo  $t_3$ , el final del segundo paso de tiempo. Para ello, la ecuación 2.72 es reaplicada, usando ahora el 2 como el subíndice del tiempo  $m-1$  y el 3 como el subíndice del tiempo  $m$ . Nuevamente un sistema de ecuaciones es formulado donde las incógnitas son ahora las cargas en el tiempo  $t_3$ ; y este conjunto de ecuaciones es resuelto simultáneamente para obtener la distribución de cargas en el tiempo  $t_3$ . Se continua con este proceso por tantos pasos de tiempo como sean necesarios para cubrir el rango de tiempo de interés.

Es importante notar que el conjunto de ecuaciones en diferencias finitas es reformulado para cada paso de tiempo; es decir, en cada paso hay un nuevo sistema de ecuaciones simultáneas a ser resuelto. Las cargas al final del paso de tiempo son las incógnitas para las cuales se debe resolver el sistema; las cargas al inicio del paso son los términos conocidos en las ecuaciones. El proceso de solución es repetido en cada paso de tiempo produciendo un nuevo arreglo de cargas para el final del paso.

Es conveniente reordenar la ecuación 2.71 de tal forma que todos los términos que contienen las cargas al final del actual paso de tiempo estén agrupadas en el lado izquierdo de la ecuación y todos los términos que son independientes de la carga al final del actual paso de tiempo estén en el lado derecho. La ecuación resultante es

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-1/2} h_{i,j,k-1}^m + CC_{i-1/2,j,k} h_{i-1,j,k}^m + CR_{i,j-1/2,k} h_{i,j-1,k}^m + (-CV_{i,j,k-1/2} - CC_{i-1/2,j,k} \\
 & - CR_{i,j-1/2,k} - CR_{i,j+1/2,k} - CC_{i+1/2,j,k} - CV_{i,j,k+1/2} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k}^m + CR_{i,j+1/2,k} h_{i,j+1,k}^m \text{ ---- (2.73)} \\
 & + CC_{i+1/2,j,k} h_{i+1,j,k}^m + CV_{i,j,k+1/2} h_{i,j,k+1}^m = RHS_{i,j,k}
 \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned}
 HCOF_{i,j,k} &= P_{i,j,k} - \frac{SCI_{i,j,k}}{t_m - t_{m-1}}, (L^2 t^{-1}) \\
 RHS_{i,j,k} &= -Q_{i,j,k} - \frac{SCI_{i,j,k} h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}}, (L^3 t^{-1}) \\
 SCI_{i,j,k} &= SS_{i,j,k} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k, (L^2)
 \end{aligned}$$

El sistema de ecuaciones de la forma de la ecuación 2.73, el cual incluye una ecuación para cada celda de carga variable en la malla, puede ser reescrita en forma matricial de la siguiente manera

$$[\mathbf{A}]\{\mathbf{h}\}=\{\mathbf{q}\}$$

donde

$[\mathbf{A}]$  es la matriz de los coeficientes de la carga, compuesta por el lado izquierdo de la ecuación 2.73, para todos los nodos activos de la malla.

$\{\mathbf{h}\}$  es un vector de valores de carga al final del paso de tiempo  $m$  para todos los nodos en la malla.

$\{\mathbf{q}\}$  es un vector de términos constantes, RHS, para todos los nodos de la malla.

### **2.5.1.2 Tipos de modelos de celda y simulación de fronteras**

En la práctica generalmente no es necesario formular una ecuación en la forma de la ecuación 2.71 para cada celda en la malla del modelo debido a que ciertas celdas, debido a su ubicación, proporcionan las condiciones de frontera del problema. En un modelo, las celdas de este tipo son agrupadas en dos categorías: celdas de carga conocida y celdas inactivas (o de no flujo). Las celdas de carga conocida son aquellas en las cuales la carga es especificada previamente, y es mantenida en este valor a través de todos los pasos de tiempo de la simulación. Las celdas inactivas o de no flujo son aquellas para las cuales no entra ni sale flujo de la celda. Las celdas restantes de la malla, llamadas celdas de carga variable, son caracterizadas por cargas cuyo valor no es especificado y puede variar en el tiempo. Una ecuación en la forma de la ecuación 2.71 debe ser formulada para cada celda de carga variable en la malla, y el sistema resultante de ecuaciones debe ser resuelto simultáneamente para cada paso de tiempo en la simulación.

Las celdas de carga conocida y de no flujo son usadas en el modelo para representar condiciones a lo largo de varias fronteras hidrológicas. Generalmente los acuíferos son de forma irregular, mientras que el arreglo del modelo es siempre de forma rectangular; las celdas de no flujo son usadas para borrar la porción del arreglo fuera de las fronteras del acuífero. Las celdas de carga constante pueden ser usadas, por ejemplo, donde el acuífero está en contacto directo con cuerpos grandes de agua. Otras condiciones de frontera, tales como áreas de flujo de entrada constante o áreas donde el flujo de entrada varía con la carga, pueden ser simuladas a través del uso de términos de fuentes externas o a través de una combinación de celdas de no flujo y términos de fuentes externas.

### III. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza en la porción nor-occidental del Estado de Sonora comprendiendo parcialmente a los municipios de Caborca, Pitiquito, Trincheras y Altar, entre las coordenadas geográficas de 30°25' a 31°00' de latitud norte y de 111°43' a 113°08' de longitud oeste.

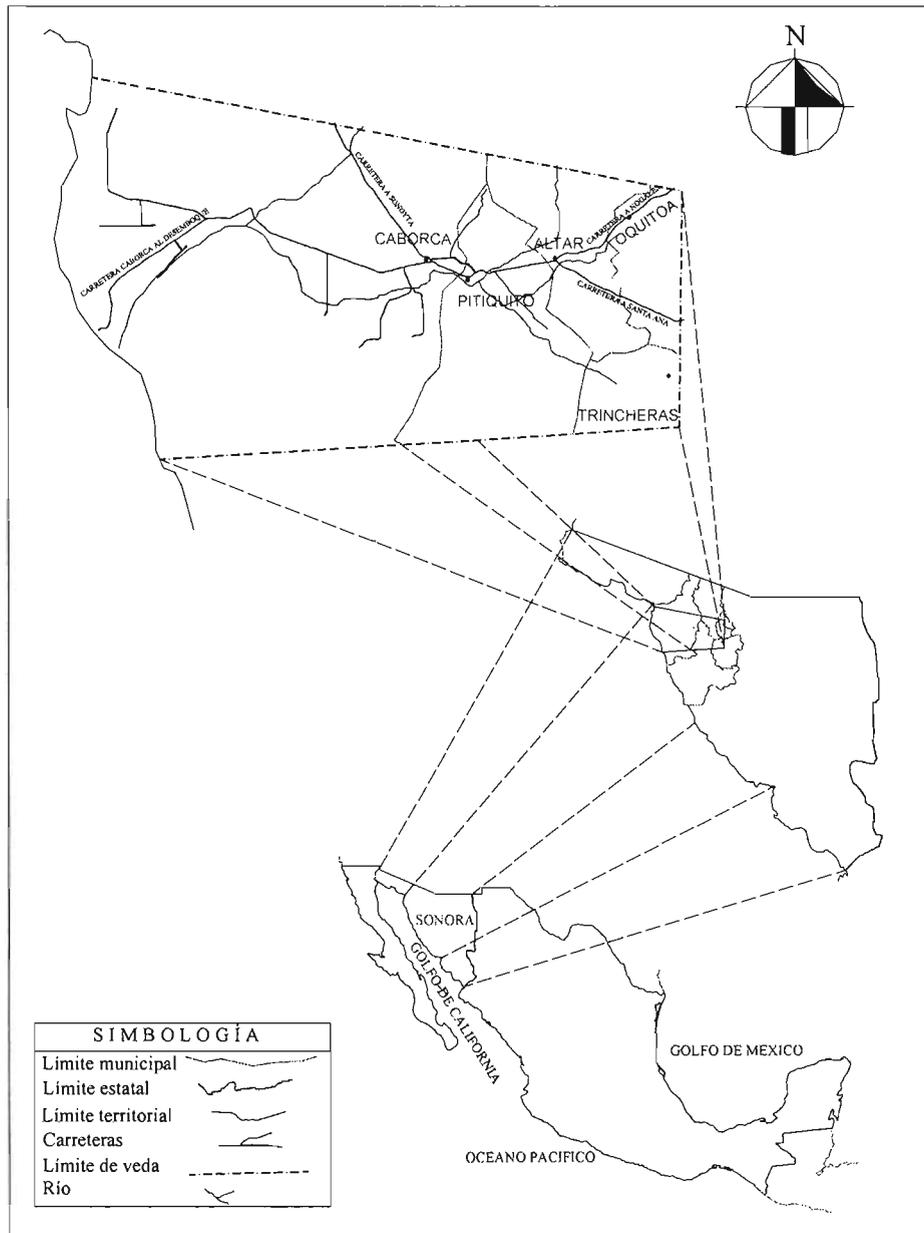


Figura 3.1 Croquis de localización.

## **3.1.2 CLIMATOLOGÍA**

### **3.1.2.1 Tipo de clima**

Las variaciones regionales de los climas están determinadas por la influencia de los vientos alisios provenientes del NE, mismos que hacen un recorrido continental, razón por la cual van perdiendo humedad al ir chocando contra los elementos orográficos existentes en su trayecto, siendo el último de ellos la Sierra Madre Occidental, provocando que su arribo a las llanuras sonorenses sea carente de humedad; por otro lado, el mar no proporciona humedad suficiente debida a las bajas temperaturas del agua durante buena parte del año, por lo que no es posible una evaporación considerable.

De acuerdo a la clasificación hecha por Kopen y modificada por Enriqueta García (1973), el clima en el área de estudio se clasifica como: BWhw(x'), dentro del grupo seco, tipo muy seco, subtipo muy seco semicálido, con lluvias en verano, con precipitación invernal mayor al 10.2% y un invierno fresco, salvo en la parte central donde es BW(h')hw(x') con un invierno tibio.

### **3.1.2.2 Datos meteorológicos**

Los datos de temperatura ( $T$ ) y precipitación ( $P$ ) se obtuvieron de los registros de cuatro estaciones meteorológicas convencionales de la base de datos ERIC 2 (Extractor Rápido de Información Climatológica 2). Se llevó a cabo una interpolación de la precipitación y temperatura para la caracterización climática del área de estudio, considerando cuatro regiones climatológicas (Figura 3.2).

La evapotranspiración de referencia ( $Eto$ ) para las regiones Oeste y Centro de la figura 3.2 se obtuvieron de un estudio elaborado por el IMTA (2002), basados en seis estaciones agrometeorológicas automatizadas representativas. Para las regiones Pitiquito y Este se estimó la  $Eto$  utilizando el programa de cómputo CropWat 4 Windows versión 4.3, el cual es un programa que usa el método de Penman Montieth elaborado por el Fondo para la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO). Dicho método utiliza como parámetros de entrada la temperatura máxima y mínima, la humedad relativa, la velocidad del viento a 2 m de la superficie del suelo y las horas luz. La velocidad del viento ( $V_{viento}$ ) se obtuvo del estudio del IMTA (2002) a partir de datos promedios del 15 de noviembre de 1995 al 3 de agosto del 2000 de la estación automatizada Los Sapos, la humedad relativa ( $HR$ ) del Atlas de Agua de la República Mexicana (1976) para los años de 1951 a 1960 y la insolación de acuerdo a la latitud de Castilla (1965). Debido a que la variación en la humedad relativa y la insolación es pequeña en la zona de estudio se estimó un promedio general para ambas.

**Tabla 3.1** *Coordenadas y años de registro de las estaciones meteorológicas convencionales y de las estaciones agrometeorológicas automatizadas de la zona.*

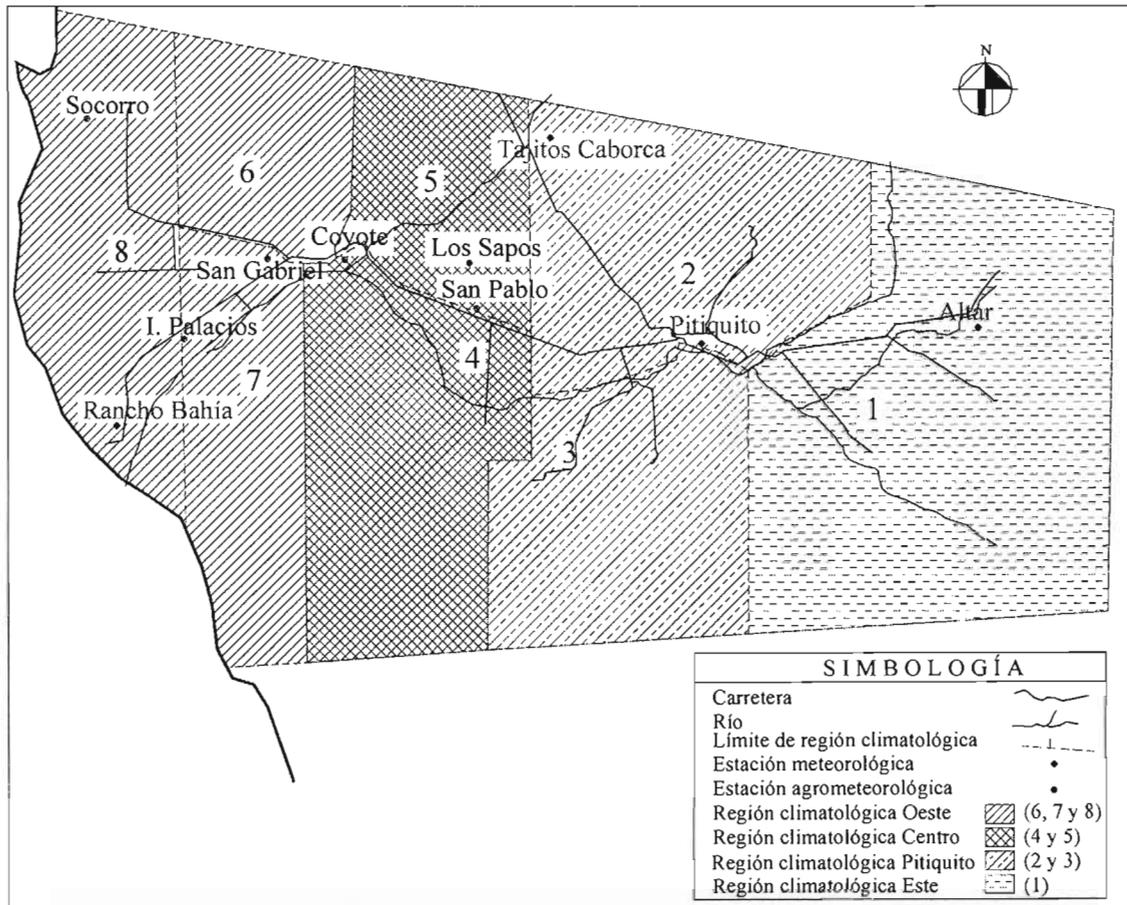
Tipo de estación	Estación	Nombre	Longitud	Latitud	Años de registro	
Meteorológica convencional	26003	Altar	111° 42' 00"	30° 43' 12"	1969-1986	
	26093	Pitiquito	111° 06' 00"	30° 42' 00"	1966-1987	
	26097	Tajitos Caborca	111° 24' 00"	30° 57' 00"	1966-1972	
	26189	Rancho Bahía	113° 00' 00"	30° 36' 00"	1975-1983	
Agrometeorológica	Zona Oeste	4150	San Gabriel	112° 45' 37.7''	30° 48' 14.8"	2002
		15895	Socorro	113° 01' 16.8''	30° 58' 19.8"	2002
		15924	El Coyote	112° 38' 55''	30° 48' 15.8"	2000-2002
		4174	I. Palacios	112° 53' 01.1''	30° 42' 21.1"	2002
	Zona Centro	0000	Los Sapos	112° 28' 01.2''	30° 47' 56.4"	1995-2002
		4160	San Pablo	112° 27' 23.7''	30° 44' 37.2"	1998-2002

**Tabla 3.2** *Promedios mensuales de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación para las cuatro regiones climatológicas.*

Mes	Oeste			Central			Pitiquito			Este		
	P	Tmáx	Tmín	P	Tmáx	Tmín	P	Tmáx	Tmín	P	Tmáx	Tmín
	(mm)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)
Enero	10.5	19.3	4.8	11.0	20.0	4.8	17.5	21.0	3.8	25.0	21.0	3.8
Febrero	6.5	23.0	6.7	9.5	23.0	6.4	16.8	23.8	4.9	19.0	23.5	4.5
Marzo	2.5	25.1	8.1	5.0	25.7	7.8	12.8	26.1	6.6	20.0	25.9	6.6
Abril	0.6	27.6	10.3	1.4	28.6	9.6	3.7	30.2	8.3	4.5	30.2	8.3
Mayo	1.5	30.5	13.6	1.2	32.5	12.8	2.0	34.5	11.6	5.0	34.7	12.2
Junio	1.5	34.0	17.5	2.5	35.5	17.0	2.3	40.0	17.1	5.5	40.0	17.8
Julio	15.0	37.2	23.3	30.0	38.7	23.0	60.8	39.9	23.0	85.0	40.0	23.2
Agosto	35.0	36.4	23.2	47.0	37.6	22.5	57.3	39.0	22.5	72.0	39.0	22.6
Septiembre	21.0	33.7	19.9	25.0	35.0	19.3	25.8	37.2	19.1	36.0	37.2	19.6
Octubre	12.0	29.5	12.9	11.0	30.5	12.8	15.0	32.0	13.1	32.0	31.6	13.0
Noviembre	5.5	24.2	7.5	8.0	25.3	7.6	11.2	26.0	7.3	13.0	25.4	6.7
Diciembre	23.0	20.6	5.1	29.0	20.6	4.7	28.9	21.0	3.9	27.0	21.0	3.7
	134.6			180.6			254.2			344.0		

**Tabla 3.3** Humedad relativa, horas luz y velocidad del viento.

Tiempo (mes)	HR (%)	Horas luz (horas/día)	Vviento @ 3m (km/h)	Vviento @ 2m (km/h)
Enero	36	7.25	6.13	5.65
Febrero	41	7.00	6.84	6.30
Marzo	30	8.36	6.92	6.37
Abril	26	8.73	6.52	6.00
Mayo	20	9.57	5.52	5.08
Junio	27	9.54	6.01	5.53
Julio	40	9.72	6.10	5.61
Agosto	50	9.24	5.92	5.45
Septiembre	44	8.33	5.37	4.95
Octubre	30	7.95	5.40	4.98
Noviembre	36	7.15	4.99	4.59
Diciembre	40	7.09	5.66	5.21



**Figura 3.2** Ubicación de las estaciones meteorológicas y de las cuatro regiones climáticas.

**Tabla 3.4** *Evapotranspiración de referencia de las cuatro regiones climatológicas.*

Tiempo (mes)	Oeste (mm)	Central (mm)	Pitiquito (mm)	Este (mm)
Enero	102.1	91.7	82.8	82.5
Febrero	115.2	100.8	95.8	94.6
Marzo	153.2	154.2	138.9	138.3
Abril	199.5	183.3	163.5	163.2
Mayo	248.9	223.7	187.9	188.5
Junio	224.8	234.9	208.2	208.2
Julio	256.0	218.3	214.5	214.8
Agosto	257.9	193.1	193.8	193.4
Septiembre	219.9	163.9	156.6	156.6
Octubre	128.9	144.4	127.7	126.5
Noviembre	89.1	100.9	84.6	83.1
Diciembre	86.4	81.0	73.2	72.9
Anual	2081.9	1890.2	1727.3	1722.5

### 3.1.3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

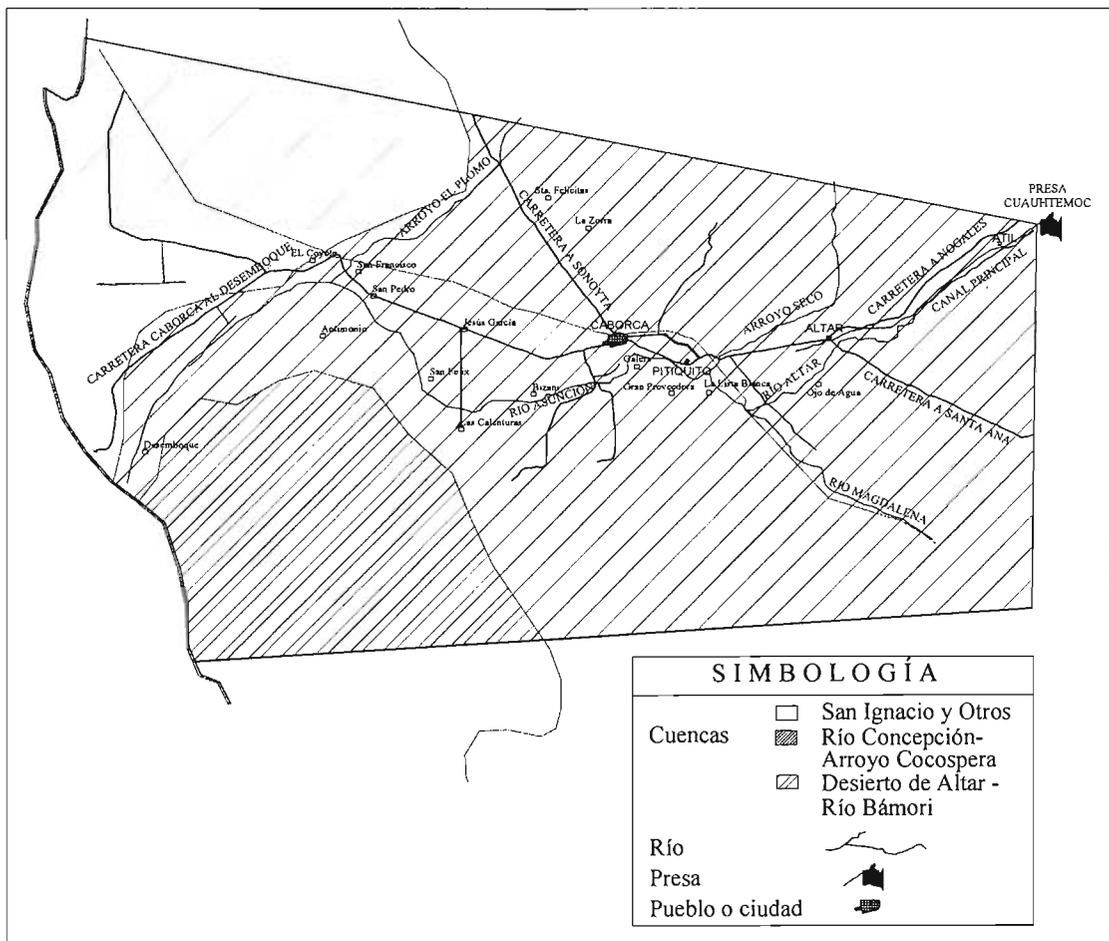
La zona de estudio queda comprendida dentro de la región hidrológica 8, Sonora Norte en la cuenca del Río Concepción-Arroyo Cocóspera. Los rasgos hidrológicos naturales más sobresalientes son los ríos Magdalena, Altar y Asunción, este último originado por la confluencia de los dos primeros. El Distrito de Riego 37, Altar –Pitiquito-Caborca, se localiza en la parte baja de la cuenca, con una extensión de 40740 Ha, pertenecientes a los municipios que dan nombre al distrito.

De acuerdo con el INEGI (1993), el Río Magdalena, nace al Norte de Imuris, presenta una longitud total de 139 Km, posee además pendiente media de 0.36% y dirección noreste-suroeste hasta el Agua Nueva donde cambia hacia el noroeste, recibe las aportaciones del arroyo Cocóspera por la margen izquierda y las del arroyo Cocotillo por la derecha. El Río Altar tiene su origen al norte de la localidad de Sáric, su trayectoria es de 99 Km, con una pendiente media de 0.48% y una dirección norte-sur hasta Tubutama, donde cambia al suroeste hasta las cercanías de Altar para cambiar finalmente al noroeste. A su vez el río Asunción cubre un trayecto de 132 Km hasta su desembocadura en el Golfo de California, con una pendiente media 0.27% y con dirección general este-oeste, siendo sus principales afluentes los arroyos Seco y El Plomo, captados ambos por la margen derecha, ver figura 3.3.

En la cuenca del Río Concepción-Arroyo Cocóspera se cuentan con 10 estaciones hidrométricas, de las cuales la estación Imuris, al sur del mismo poblado y sobre el Río Magdalena, reporta un volumen medio de 64.4 millones de m<sup>3</sup> anuales para los años de 1970 a 1992; la estación Santa Teresa, ya suspendida y que operaba a 3 Km aguas debajo de la presa

Cauhtémoc, sobre el río Altar, registró de 1942 a 1949 un volumen medio anual de 26.1 millones de m<sup>3</sup>; la estación Pitiquito I, al este de esa localidad y sobre el Río Asunción, operó de 1950 a julio de 1960, siendo remplazada desde entonces por la estación Pitiquito II localizada a 6 Km aguas abajo del poblado de Pitiquito y a 4 Km al sureste de Caborca, reportan entre ambas un promedio, durante 46 años de registro, de 50.5 millones de m<sup>3</sup> anuales. De los 50.5 Mm<sup>3</sup> en los meses de julio y agosto se registran en promedio 25.4 Mm<sup>3</sup>, 20.8 Mm<sup>3</sup> de septiembre a enero y 4.3 Mm<sup>3</sup> en los meses de febrero a junio. La información anterior fue obtenida del Banco Nacional de Datos mediante el Sistema de Información de Aguas Superficiales elaborado por el IMTA (1997).

La cuenca del Río Concepción-Arroyo Cocóspera de acuerdo con el INEGI (1993) tiene una superficie de 25 604 km<sup>2</sup>, así como una precipitación media anual de 305 mm. Se tiene el volumen anual precipitado de aproximadamente 7 809.22 millones de m<sup>3</sup>, por lo que para el volumen de agua escurrimiento de 141 millones de m<sup>3</sup> el coeficiente de escurrimiento es de 1.8%.



**Figura 3.3 Características hidrológicas.**

**Fuente: INEGI (1993)**

El principal cuerpo de agua en la región es el vaso de la presa Cuauhtémoc, la cual de acuerdo con Ariel Consultores (1997) tiene una capacidad de 62 Mm<sup>3</sup> de capacidad y cuya fuente de abastecimiento es el escurrimiento del río Altar, con un área de captación de 2,900 Km<sup>2</sup> hasta este sitio. La captación útil de la presa es de 40 Mm<sup>3</sup> y el volumen anual medio utilizado es del orden de 16 Mm<sup>3</sup> en una superficie regable de 1200 Ha aproximadamente. De acuerdo con el gobierno del estado de Sonora, los municipios beneficiados son Atil y Oquitoa, los cuales cuentan con una superficie 1,131 Ha y 901 Ha de terreno agrícola respectivamente. Los principales cultivos que explotan son el algodón, trigo, cártamo, sorgo, maíz y frijol.

### **3.2 ZONA AGRÍCOLA**

Dentro de la superficie estudiada queda comprendido El Distrito de Riego 037, Altar-Pitiquito-Caborca, principal usuario del agua de la región. De acuerdo con Ariel Consultores (1997) el desarrollo agrícola data desde 1940, fecha en que se empezaron a perforar pozos, aunque el distrito fue creado el 5 de agosto de 1967. Para el año 1960 ya se contaban con 800 pozos.

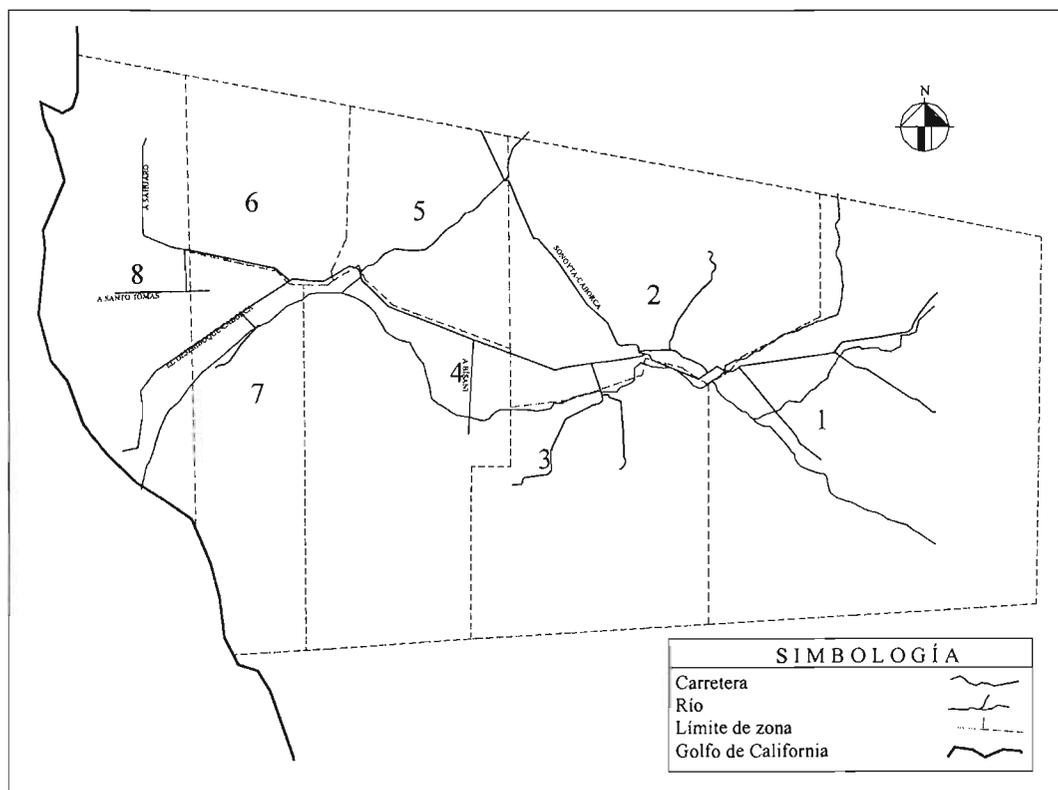
El crecimiento agrícola indiscriminado propició la sobreexplotación del acuífero, motivo por el cual se decretó una veda en septiembre de 1962, publicada en el Diario oficial de la Federación en octubre del mismo año. La zona de veda se puede apreciar en la figura 3.1.

Debido a lo anterior en los últimos años se ha reducido el gasto de extracción de los pozos, la superficie de siembra y se han realizado trabajos de tecnificación de las zonas de riego, para lograr un uso más eficiente del agua.

Para llevar a cabo la caracterización agrícola, la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 037 (ASUDIR 037) ha dividido la superficie del Distrito de riego en ocho zonas, cada una de las cuales está integrada por cierto número regiones, ver tabla 3.5 y figura 3.4. El IMTA se basó en la distribución de estas ocho zonas para llevar a cabo un diagnóstico del distrito, caracterizando por zonas la distribución de los cultivos, la eficiencia electromecánica de las bombas, las eficiencias de riego y la calidad del agua de los pozos (IMTA, 2002).

**Tabla 3.5** Regiones que componen las ocho zonas.

Zona	Regiones
1	Ejido Pitiquito, Altar y Llano Blanco
2	La Provedora y Los Juncos
3	El Deseo, Lista Blanca y Lázaro Cárdenas
4	El Antimonio, Los Sapos, El Deseo y El Bizani
5	Los Sapos, El Coyote, El Bizani y El Deseo
6	Oeste y Col. Oeste
7	Oeste, Cerro Blanco, La "Y" y La Alameda
8	Bajío de la Soledad y La Bolsa



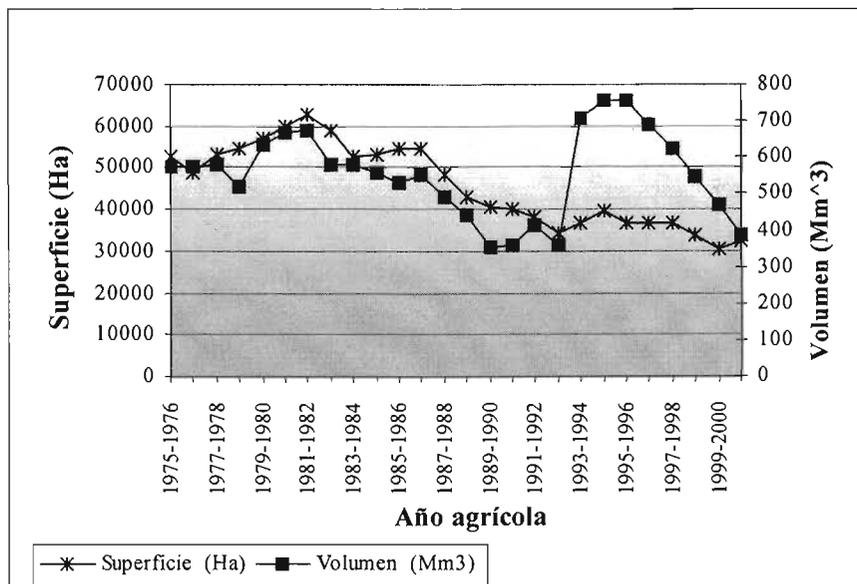
**Figura 3.4** Ubicación de las ocho zonas en el Distrito.

A continuación se presentan las características más sobresalientes de la zona agrícola en el presente distrito de riego.

### 3.2.1 SUPERFICIE SEMBRADA Y VOLUMEN DE AGUA BOMBEADO

El total de la superficie sembrada es de riego. La principal fuente de agua es por bombeo representando un 98 % del agua utilizada, el resto es de gravedad, proveniente de la presa Cuauhtémoc. A continuación se presenta una gráfica de la superficie sembrada desde el periodo de 1975-1976 al 2000-2001, así como el volumen de agua bombeada por pozos. La información fue obtenida de las siguientes fuentes: La superficie sembrada del ciclo 1975-1976 al 1989-1990 de Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996), del 1990-1991 al 1996-1997 de Ariel Consultores (1997) y del ciclo 1997-1998 al 2000-2001 de los informes estadísticos de la CNA de 1999, 2000, 2001 y 2002. El volumen de agua bombeado del ciclo 1975-1976 al 1988-1989 de IMTA (2002), del 1989-1990 al 1996-1997 de Ariel Consultores (1997) y los siguientes ciclos de los informes estadísticos de la CNA de 1999, 2000, 2001 y 2002.

Como se puede ver en la gráfica, el volumen extraído presenta un incremento muy marcado en los últimos años a pesar de la disminución de la superficie sembrada. Lo anterior se debe a que actualmente se lleva a cabo un mejor control de las extracciones estimado a través de los consumos de energía eléctrica.



**Gráfica 3.1** Evolución de la superficie sembrada y el volumen de agua bombeada desde el año agrícola 1975-1976 al 2000-2001.

En la tabla 3.6 se puede apreciar la superficie sembrada mediante las dos fuentes de agua para riego, bombeo y gravedad, desde el ciclo agrícola de 1996-1997. Para el ciclo agrícola 1996-1997 no se tuvo acceso a registros de la superficie sembrada con agua de gravedad.

**Tabla 3.6** Superficie sembrada mediante las dos fuentes de agua para riego: Bombeo y gravedad.

Ciclo Agrícola	Bombeo		Gravedad	
	Volumen (Mm <sup>3</sup> )	Superficie (Ha)	Volumen (Mm <sup>3</sup> )	Superficie (Ha)
1996-1997	688.374	36910		
1997-1998	621.604	36190	7.929	643
1998-1999	544.941	33423	2.332	150
1999-2000	469.116	29716	13.456	721
2000-2001	383.543	31657	13.891	688

Fuente: Ariel Consultores (1997), CNA (1999), CNA (2000), CNA (2001) y CNA (2002)

## 3.2.2 PATRÓN DE CULTIVOS

### 3.2.2.1 Evolución del patrón de cultivos

En la tabla 3.7 se aprecia el patrón de cultivos para los ciclos agrícolas 1996-1997 al 2000-2001 considerando la superficie total de cosecha en Ha. Se considera la superficie sembrada con agua de bombeo y de gravedad. Los datos del primer ciclo fueron obtenidos de Ariel Consultores (1997) y el resto de los informes estadísticos de la SEMARNAT-CNA de 1999, 2000, 2001 y 2002.

**Tabla 3.7** Patrón de cultivos para los ciclos agrícolas de 1996-1997 al 2000-2001

Cultivo	Superficie Cosechada (Ha)				
	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001
<b>Perennes</b>					
Alcachofa		50	80	42	47
Alfalfa Achicalada	800	1213	1205	1418	1464
Almendro				22	22
Chabacano	35	35	40	39	24
Durazno	100	100	120	148	148
Espárrago	4920	4000	5750	4520	4520
Manzano	40	40	52	52	52
Naranja				685	685
Nogal (nuez)	120	132	141	135	143
Olivo (aceituna)	2770	1475	3180	3277	3205
Otros cítricos	700	690	685		
Otros cultivos varios	40	40	120		
Vid (industrial)	9500	13050	13000	9240	7975
Vid (mesa)	4000			3579	3525
Total perennes	23025	20825	24373	23157	21810
<b>Otoño – Invierno</b>					
Avena forrajera				166	40
Chíncharo				80	
Cultivos varios	120	100	187		
Rye Grass	200	382	293	356	129
Trigo Grano	9100	6874	5986	3730	5994
Total O-I	9420	7356	6466	4332	6163
<b>Primavera – Verano</b>					
Algodón	3200	4008	1311	721	994
Frijol	20	80	30		
Maíz de grano	100	10	85	30	
Melón	255	50	182	340	807
Otros forrajes	50	200	204		
Otras hortalizas				108	
Pepino	100	100	48	68	
Sandía	150	90	124	83	
Sorgo forrajero				156	66
Sorgo de grano	500	300		282	119
Otros cultivos varios	90		50		
Total P-V	4465	4838	2034	1788	1986
Total general	36910	33019	32873	29277	29959

Fuente: SEMARNAT-CNA 1999, 2000, 2001 y 2002

Como se puede ver en la gráfica y en las dos tablas anteriores la superficie sembrada ha disminuido, cabe señalar que la superficie sembrada con cultivos perennes incrementó del 62 % al 73 % del total de la superficie sembrada, los cultivos de Otoño-Invierno disminuyeron de un 25.5 % a un 20.5 % y los cultivos de Primavera-Verano también disminuyeron de un 12%

a un 6%. Hubo un incremento en cultivos perennes aunque en superficie se dejaron de cultivar 1215 hectáreas en los últimos cinco ciclos agrícolas, lo cual representa una reducción del 5 %. Los cultivos de Otoño- Invierno se redujeron en un 34.5 % y los de Primavera-Verano un 55 %.

### 3.2.2.2 Valor de la producción del año agrícola 2000-2001

En la tabla 3.8 se presenta el rendimiento de los cultivos, la producción, el precio por tonelada y el valor de la producción de la superficie cosechada en el Distrito de riego 037 para el año agrícola 2000-2001.

**Tabla 3.8** Valor de la producción del año agrícola 2000-2001

Cultivo	Superficie Cosechada (Ha)	Rendimiento (ton/Ha)	Producción (Ton)	Precio (\$/Ton)	Valor de la producción	
					Total (miles \$)	Por hectárea (\$/Ha)
Alcachofa	47	18.00	846.0	5850.0	4,949.10	105,300.00
Alfalfa Achicalada	1464	14.00	20496.0	890.0	18,241.44	12,460.00
Almendro	22	4.50	99.0	3200.0	316.80	14,400.00
Chabacano	24	3.92	94.0	2200.0	206.80	8,616.67
Durazno	148	4.00	592.0	3466.0	2,051.70	13,862.84
Espárrago	4520	5.63	25449.0	29316.0	746,062.88	165,058.16
Manzano	52	4.19	218.0	6000.0	1,308.00	25,153.85
Naranja	685	13.20	9042.0	2500.0	22,605.00	33,000.00
Nogal (nuez)	143	0.08	12.0	31000.0	372.00	2,601.40
Olivo (aceituna)	3205	4.04	12960.0	4300.0	55,728.00	17,387.83
Vid (industrial)	7975	7.20	57410.0	3838.0	220,312.74	27,625.42
Vid (mesa)	3525	8.37	29512.0	14200.0	419,070.40	118,885.22
Total perennes	21810		156730.0		1,491,224.86	68,373.45
-						
Avena forrajera	40	14.00	560.0	725.0	406.00	10,150.00
Rye Grass	129	14.60	1883.0	850.0	1,600.55	12,407.36
Trigo Grano	5994	5.60	33584.0	1450.0	48,696.80	8,124.26
Total O-I	6163		36027.0		50,703.40	8,227.06
-						
Algodón	994	3.86	3838.0	3480.0	13,356.24	13,436.86
Melón	807	16.38	13215.0	11688.0	154,456.92	191,396.43
Sorgo grano	119	3.10	369.0	1825.0	673.43	5,659.03
Sorgo forrajero	66	14.00	924.0	400.0	369.60	5,600.00
Total P-V	1986		18346.0		168856.2	85,023.26
<b>Total general</b>	<b>29959</b>		<b>211103.0</b>		<b>1,710,784.40</b>	<b>57,104.19</b>

Fuente: SEMARNAT-CNA (2002)

De acuerdo con la tabla anterior los cultivos de mayor valor de la producción son los perennes representando el 87 % del valor de la producción total en el Distrito, los de primavera verano representan el 10% y los de otoño invierno representan tan solo el 3%. De los cultivos perennes los de mayor valor de producción por hectárea son la alcachofa, el espárrago y la vid de mesa, más de 100,000 \$/Ha, mientras que el de menor valor es el nogal de sólo 2600 \$/Ha. Dentro de los cultivos de primavera verano el de mayor valor de la producción es el melón, 191,396 \$/Ha.

### 3.2.2.3 Distribución de los cultivos por zona

La distribución de los cultivos por zona se obtuvo de la información de la Asociación Civil de Usuarios del Distrito de Riego 037, del Distrito de Riego 037 y un inventario de cultivos perennes que realizó el IMTA en la zona de estudio.

**Tabla 3.9 Superficie de cada cultivo por zona para el ciclo agrícola 2000-2001**

Cultivo	Superficie por zona (Ha)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
<b>Perennes</b>									
Vid	380	368	490	758	2114	3781	1787	1084	10762
Olivo	20	200	10	30	251	725	665	1142	3043
Espárrago	0	230	0	690	502	1021	301	1710	4454
Nogal	0	0	0	0	0	90	35	0	125
Alfalfa	256	129	166	6	216	70	38	134	1015
Cítricos	40	0	0	13	0	40	120	115	328
Durazno	0	0	0	0	0	44	19	2	65
Otros	0	60	0	23	0	9	32	0	124
Total Perennes	696	987	666	1520	3083	5780	2997	4187	19916
<b>Otoño – Invierno</b>									
Trigo (Nov)	1200	1500	1100	1250	300	0	0	0	5350
Trigo (Dic)	50	60	50	50	0	0	0	0	210
Melón	20	25	35	40	20	50	20	30	240
Otros	70	100	150	130	270	230	340	300	1590
Total O-I	1340	1685	1335	1470	590	280	360	330	7390
<b>Primavera – Verano</b>									
Maíz	200	30	50	10	0	0	0	0	290
Melón	50	45	35	40	55	60	60	30	375
Otros	170	210	150	190	270	270	270	150	1680
Total P-V	420	285	235	240	325	330	330	180	2345
Total	2456	2957	2236	3230	3998	6390	3687	4697	29651

Fuente: IMTA (2002)

### 3.2.2.4 Superficie de cultivo por sistema de riego

De la misma fuente se obtuvo la superficie de cultivo sembrada por cada sistema de riego para el ciclo agrícola 2000-2001

**Tabla 3.10** Superficie de cultivo por sistema de riego para el ciclo agrícola 2000-2001

Cultivo	Superficie por Sistema de Riego (Ha)					
	Gravedad	Aspersión	Cinta de goteo	Goteo	Microaspersión	Total
<b>Perennes</b>						
Vid	2682	0	0	8080	0	10762
Olivo	2158	0	0	150	735	3043
Espárrago	969	0	3485	0	0	4454
Nogal	125	0	0	0	0	125
Alfalfa	979	0	36	0	0	1015
Cítricos	248	0	0	0	80	328
Durazno	41	0	0	24	0	65
Otros	23	60	0	41	0	124
<b>Total Perennes</b>	<b>7225</b>	<b>60</b>	<b>3521</b>	<b>8295</b>	<b>815</b>	<b>19916</b>
<b>Otoño- Invierno</b>						
Trigo	5350	210	0	0	0	5560
Melón	30	0	210	0	0	240
Otros	1060	0	0	530	0	1590
<b>Total O-I</b>	<b>6440</b>	<b>210</b>	<b>210</b>	<b>530</b>	<b>0</b>	<b>7390</b>
<b>Primavera – Verano</b>						
Maíz	290	0	0	0	0	290
Melón	30	0	345	0	0	375
Otros	1120	0	0	560	0	1680
<b>Total P-V</b>	<b>1440</b>	<b>0</b>	<b>345</b>	<b>560</b>	<b>0</b>	<b>2345</b>
<b>Total</b>	<b>15105</b>	<b>270</b>	<b>4076</b>	<b>9385</b>	<b>815</b>	<b>29651</b>

Fuente: IMTA (2002)

De la tabla anterior se puede ver que los cultivos con mayor nivel de tecnificación son los Perennes ya que de las 19916 Ha solo 7225 Ha se riegan con por gravedad. Los cultivos de menor nivel de tecnificación son los de Otoño-Invierno ya que de 7390 Ha de este ciclo 6440 Ha se riegan por gravedad.

### 3.2.3 REQUERIMIENTO DE RIEGO DE LOS CULTIVOS

Para el cálculo del requerimiento de riego ( $RR$ ) de los cultivos es necesario conocer la evapotranspiración de referencia ( $Eto$ ), la precipitación efectiva ( $Pef$ ), el coeficiente de cultivo ( $Kc$ ), la fecha de siembra y duración de cada etapa de desarrollo de cada cultivo.

Para el cálculo de la *Eto* se dividió el Distrito de Riego en cuatro regiones climatológicas. Los resultados se presentan en la tabla 3.4. La precipitación efectiva se obtuvo mediante una fórmula aplicable a precipitaciones menores a 250 mm por mes propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la cual se presenta a continuación

$$P_{ef} = \frac{PP}{125} (125 - 0.2pp)$$

Se considera que los cultivos se dividen en cuatro etapas de desarrollo: la inicial, la de desarrollo, la etapa media y la etapa final, por lo que los coeficientes de cultivo se caracterizan de acuerdo a dichas etapas. Presentándose tres coeficientes; el coeficiente de cultivo inicial ( $Kc_{ini}$ ) que se presenta a la mitad del periodo inicial, el medio ( $Kc_{med}$ ) a la mitad del periodo de la etapa media y el final ( $Kc_{final}$ ) al final de la etapa final (Figura 3.5). Los coeficientes de cultivo, la duración de cada periodo y la fecha de siembra se obtuvieron de la FAO (1998), de IMTA (1997), IMTA (2002) y del programa de cómputo CropWat 4 Windows, presentándose los valores en las tablas 3.11 y 3.12.

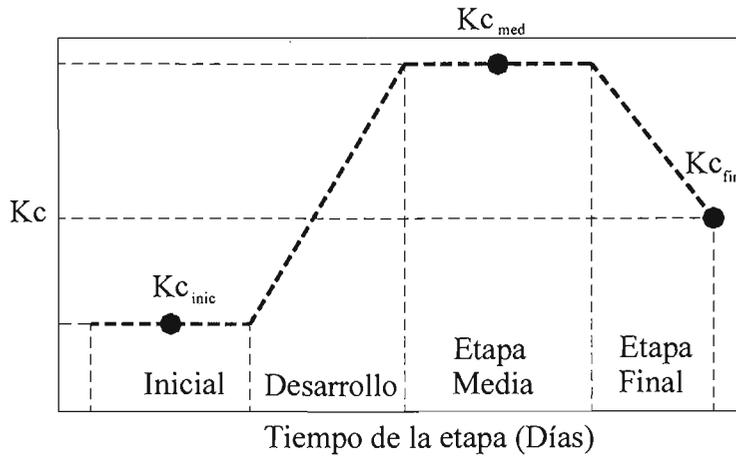


Figura 3.5 Periodos de desarrollo de los cultivos.

El requerimiento de riego también fue calculado mediante el uso del programa de cómputo CropWat 4 Windows versión 4.3. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.13.

**Tabla 3.11** Duración de las etapas de desarrollo de los cultivos.

Cultivo	Duración de Etapas de Desarrollo (días)				
	Inicial ( $L_{ini}$ )	Desarrollo ( $L_{des}$ )	Etapa media ( $L_{med}$ )	Etapa final ( $L_{fin}$ )	Total ( $L_{total}$ )
Alfalfa	10	30	Variable	Variable	365
Cítricos	150	90	90	35	365
Durazno	30	50	130	30	240
Espárrago	90	30	200	45	365
Maíz	30	40	50	30	150
Melón	30	30	30	30	120
Nogal	20	10	130	30	190
Olivo	30	90	60	90	270
Trigo Invierno	20	60	70	30	180
Vid	20	50	75	60	205

**Tabla 3.12** Valores de los coeficientes de cultivo.

Cultivo	Coeficientes de Cultivo		
	Inicial $Kc_{ini}$	Medio $Kc_{med}$	Final $Kc_{final}$
Alfalfa	0.40	0.95	0.90
Cítricos	0.70	0.65	0.70
Durazno	0.55	0.90	0.65
Espárrago	0.50	0.90	0.30
Maíz	0.30	1.20	0.50
Melón	0.25	1.00	0.70
Nogal	0.50	1.10	0.65
Olivo	0.65	0.70	0.70
Trigo Invierno	0.30	1.15	0.25
Vid	0.30	0.85	0.45

**Tabla 3.13** *Requerimiento de riego de los cultivos por zona.*

Cultivo	Requerimiento de Riego (mm)			
	Oeste	Central	Pitiquito	Este
Alfalfa	1745.44	1599.71	1383.05	1282.41
Cítricos	1277.15	1160.97	979.07	881.52
Durazno	1164.03	1091.91	921.68	865.43
Espárrago	1372.00	1260.71	1063.00	965.00
Maíz	769.98	750.39	668.92	644.36
Melón	493.85	491.71	421.97	401.54
Nogal	1200.00	1075.00	963.93	894.05
Olivo	1065.97	980.34	818.86	754.17
Trigo Dic	724.95	706.95	590.85	563.20
Trigo Nov	607.80	579.54	474.62	443.30
Vid	889.49	832.26	702.42	654.40

### 3.2.4 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR BOMBEO

#### 3.2.4.1 Eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica ( $E_{e-m}$ ) permite conocer la relación que existe entre la potencia hidráulica desarrollada por la bomba y la potencia consumida por el motor eléctrico. Esta información fue obtenida de IMTA (2002), quién estimó la eficiencia electromecánica de 80 pozos de bombeo de la zona, obteniendo los siguientes resultados promedios para cada una de las zonas. La distribución de las zonas se puede apreciar en la figura 3.4.

**Tabla 3.14** *Valores promedios de la eficiencia electromecánica*

Zona	Número de Pruebas	$E_{e-m}$ máxima (%)	$E_{e-m}$ mínima (%)	$E_{e-m}$ promedio (%)
1	13	70.39	23.46	52.69
2	4	66.17	36.78	51.48
3	10	66.20	32.08	49.54
4	7	62.03	36.37	51.86
5	10	72.42	18.62	49.80
6	10	65.16	8.15	52.28
7	14	72.69	24.83	47.98
8	12	71.15	29.37	47.35

Como se puede ver en la tabla anterior no hay mucha variación en la  $E_{e-m}$  promedio para cada una de las zonas, ya que van de 47.35% a 52.69%. Donde se ve mayor discrepancia es entre la  $E_{e-m}$  máxima y  $E_{e-m}$  mínima. A pesar de que en la zona 6 se tiene un pozo con  $E_{e-m}$  de 8.15 % en general presenta una  $E_{e-m}$  promedio mayor que en la zona 8 o 7.

IMTA (2002) también presenta una tabla con los valores de la frecuencia de la  $E_{e-m}$  de los pozos sondeados: Con  $E_{e-m}$  baja, menor del 40%, se encuentran el 24.35% de los pozos; con  $E_{e-m}$  de aceptable a buena, del 40% al 70%, se encuentran el 70.51% de pozos y con  $E_{e-m}$  óptima, mayor al 70%, se encuentran sólo el 5.13 % de pozos.

### 3.2.4.2 Eficiencias de riego

De la misma fuente fue obtenida la eficiencia de riego global ( $E_g$ ) por zona, la eficiencia de aplicación por cultivos, así como la evolución de la eficiencia de riego global del año 1997 al 2002.

#### a) Eficiencia de riego global por zona

A continuación se presentan los valores promedios de la eficiencia global ( $E_g$ ) de los sistemas de riego por gravedad y presurizado, en función a la eficiencia de conducción ( $E_c$ ) y la eficiencia de aplicación ( $E_a$ ) como resultado de medidas hechas en campo por el IMTA.

**Tabla 3.15** *Valores promedios de la eficiencia de conducción, de gravedad y global.*

Zona	$E_c$ (%)	$E_a$		$E_g$	
		Gravedad (%)	Presurizado (%)	Gravedad (%)	Presurizado (%)
1	89.7	73.50	69.57	65.93	62.41
2	94.0	52.89	---	49.70	----
3	88.1	37.70	50.30	33.21	44.31
4	94.7	47.31	48.26	44.82	45.72
5	75.2	32.26	58.54	24.25	44.01
6	92.9	43.24	52.52	40.16	48.78
7	82.4	23.58	64.89	19.44	53.50
8	88.3	60.50	61.90	53.45	54.68

**Fuente:** IMTA (2002)

Como se puede apreciar en la tabla 3.15, la  $E_c$  es alta lo cual se puede deber a los siguientes aspectos: Los pozos están cercanos a la parcela, algunas parcelas se riegan con sistemas presurizados de tal manera que el agua llega entubada a la parcela y a que en las parcelas con sistemas de riego de gravedad los canales se encuentran revestidos.

La Ea en sistemas de riego presurizado es mayor que en sistemas de riego por gravedad. Sin embargo, son valores bajos para los valores potenciales para estos sistemas.

La zona 1 presenta una Ea mayor para los sistemas de riego por gravedad que para los presurizados. Lo anterior se debe a que dos de las cuatro parcelas analizadas con sistemas presurizados presentan eficiencias del 43 %, la cual es muy baja para este tipo de sistema de riego.

### **b) Evolución de la eficiencia global por zona**

A continuación se presenta una tabla con los valores promedio de la eficiencia global por zona del año 1997 al 2002. Los valores fueron estimados por el IMTA de acuerdo a las eficiencias de conducción y de aplicación medidas en campo, por lo que éstos podrían presentar un error mayor a los calculados en campo.

**Tabla 3.16** *Evolución de la eficiencia global del año 1997 al 2002*

<b>Zonas</b>	<b>1997 (%)</b>	<b>1998 (%)</b>	<b>1999 (%)</b>	<b>2000 (%)</b>	<b>2001 (%)</b>	<b>2002 (%)</b>
1	66.2	66.3	66.4	66.5	66.7	66.89
2	52.7	54.5	56.3	57.5	58.7	59.48
3	38.2	39.9	41.6	42.4	43.2	44.04
4	46.0	46.6	47.0	47.2	47.4	47.57
5	40.4	46.7	48.5	50.3	51.2	52.35
6	44.4	46.0	46.9	47.9	48.6	49.36
7	27.9	33.0	39.7	46.5	48.2	48.92
8	54.9	56.2	57.2	57.7	58.1	58.45

**Fuente:** *IMTA (2002)*

### **c) Eficiencia de aplicación por cultivo**

A continuación se presenta una tabla con los valores promedios de la eficiencia de aplicación de diferentes cultivos obtenidos por IMTA (2002) de mediciones en el campo.

**Tabla 3.17** Valores promedios de la eficiencia de aplicación y global

Cultivo	Ea	
	Gravedad (%)	Presurizado (%)
Alfalfa	95.14	
Espárrago	45.63	51.48
Árbol Frutal		94.76
Melón		30.39
Nogal	44.44	
Olivo	47.12	89.90
Sandía	18.50	
Trigo	60.02	
Vid	36.60	75.04

Como se puede observar el cultivo que presenta la menor eficiencia de aplicación es la sandía y el de mayor eficiencia es la alfalfa. Cabe aclarar que el mayor número de pruebas se realizaron en vid. La discrepancia puede deberse al tamaño variable de muestras para cada cultivo.

### 3.2.4.3 Calidad del agua de los pozos

En el año 2000 el Distrito de Riego proporcionó el análisis químico del agua de 842 pozos, en los cuales se analizó la Conductividad Eléctrica (CE), la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y el carbono de sodio residual (SCR). Los resultados obtenidos se presentan en IMTA (2002), de los cuales destaca lo siguiente.

#### a) Conductividad Eléctrica

Para la evaluación de la conductividad eléctrica se tomó en cuenta la clasificación de Rhoades de la siguiente forma:

##### Aguas de riego

Buena calidad	>0.7 dS/m
Con riesgo de salinidad	0.7 a 3.0 dS/m
No apta para riego	>3.0 dS/m

##### Aguas subterráneas

No salina	>0.7 dS/m
Ligeramente salina	0.7 a 2.0 dS/m
Moderadamente salina	10 a 25 dS/m
Altamente salina	15 a 45 dS/m
Salmueras	> 45 dS/m

De los 842 pozos evaluados se encontró que 420 (49.9%) presentan agua de buena calidad, 399 (47.7%) aguas con riesgo de salinidad y 23 (2.4%) agua no apta para el riego. De estos 23 pozos 20 se encuentran en la zona 8. Actualmente el problema no es muy grave pero de seguirse abatiendo el acuífero se irán presentando mayor número de pozos con problema, sobretodo en la zona 8 que es la que se encuentra cercana a la costa.

### **b) Relación de Adsorción de Sodio**

Para la evaluación de la Relación de Adsorción de Sodio se usó la clasificación de Jones, B. J. Y B. Wolf, que considera aguas de buena calidad con valores de RAS menores a 3, media de 3 a 6 y mala mayores a 6.

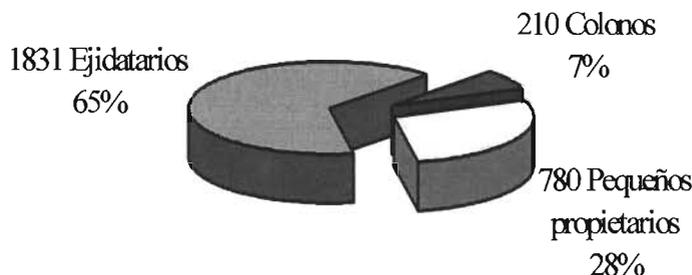
De los 842 pozos evaluados 597 presentan una buena RAS, 165 media y 83 mala. Las zonas con problemas de RAS son las 8, 7, 6 y 5, que se localizan cercanas al mar.

### **c) Concentración de Carbonato Residual**

En cuanto a la concentración de carbonato residual se encontraron 30 pozos con agua de dudosa calidad con valores de 1.25 a 2.5 meq/l y 812 pozos con aguas probablemente buenas con valores menores de 1.25 meq/l. Los problemas encontrados se localizan en la zona 6.

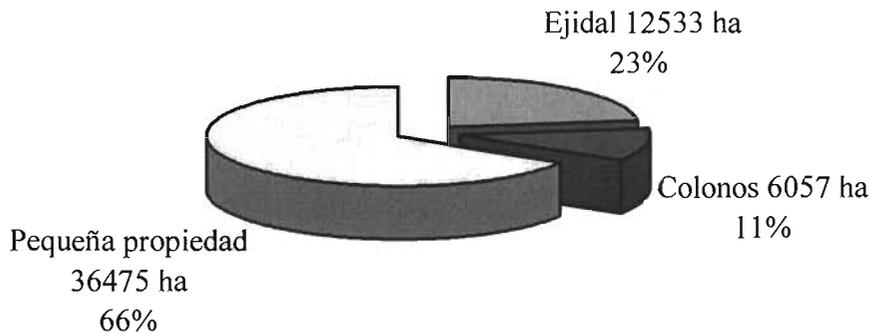
## **3.2.5 TENENCIA DE LA TIERRA**

De acuerdo con Ariel Consultores (1997), en el Distrito de Riego 037 hay registrados 2821 usuarios, de los cuales el 65% son ejidatarios, el 7% son colonos y el 28% son pequeños propietarios. Con un promedio de 47 Ha a cada pequeño propietario, 7 Ha a cada ejidatario y 29 Ha para cada colono. En la gráfica 3.2 se puede apreciar de mejor manera el número de usuarios por cada tipo de tenencia de la tierra.

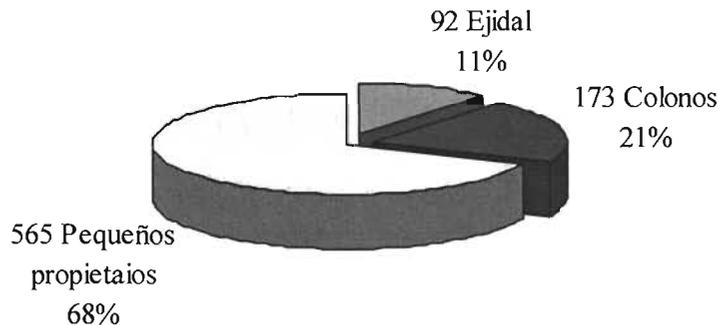


**Gráfica 3.2** *Número de usuarios por tipo de tenencia de la tierra.*

Del total de la superficie dominada en la unidad de riego por bombeo de 55065 Ha, los ejidatarios poseen 12533 Ha de riego, representando el 23%; los colonos tienen 6057 Ha que representan un 11% y los pequeños propietarios son dueños de 36475 Ha, las cuales representan el 66% de la superficie regable. Respecto al número de aprovechamientos el sector ejidal posee 92 representando el 11 % de los 830 pozos, los colonos 173 equivalente a un 21% y los pequeños propietarios 565 equivalente a un 68%. Lo anterior se muestra en las siguientes gráficas.



**Gráfica 3.3** Superficie de riego por tipo de tenencia de la tierra



**Gráfica 3.4** Número de aprovechamientos por tipo de tenencia de la tierra

De las gráficas anteriores se puede decir que el mayor número de usuarios son ejidatarios, quienes poseen en menor número de aprovechamientos. Por otro lado, el menor número de usuarios son los pequeños propietarios, que son quienes tienen la mayor superficie de riego y el mayor número de aprovechamientos en el distrito.

## **3.3 FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA**

### **3.3.1 FISIOGRAFÍA**

La zona de estudio desde el punto de vista fisiográfico (INEGI, 1993) se ubica en la porción norte de la provincia II denominada “Llanura Sonorense”, subprovincia 08 “Sierras y Llanuras Sonorenses”. Dentro del área de estudio se definen seis clases de sistemas de topofomas descritas como: Sierra, lomerío, bajada, campo de dunas y playa o barra.

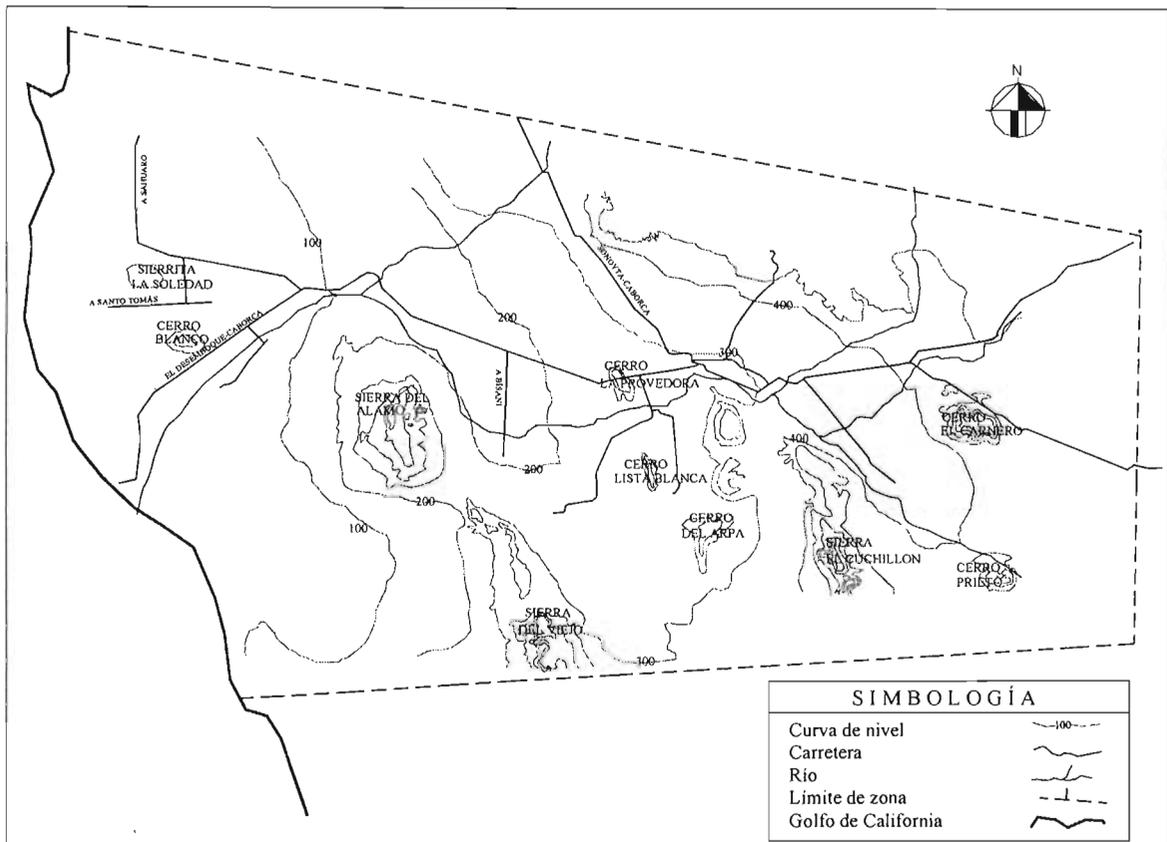
La provincia llanura sonorense, forma una franja de orientación NW-SE paralela a la línea de la costa, en ella se hallan: La discontinuidad de la sierra del Pinacate, la cual posee alturas que varían de los 75 a los 1190 m.s.n.m., el elemento típico del paisaje lo constituye una serie de cráteres y mesetas de origen volcánico; La subprovincia denominada llanura sonorense presenta sierras aisladas de rumbo NW-SE y N-S, con alturas que van de 200 a 1400 m.s.n.m.

### **3.3.2 GEOMORFOLOGÍA**

#### **3.3.2.1 Caracterización geomorfológica**

El rasgo geomorfológico más notable del área de estudio está constituido por amplias planicies aluviales, sobre las que destacan elevaciones montañosas de moderada altitud, alineándose con rumbo NNO-SSE. Destacan por su altitud las Sierras: El Álamo, El Viejo, El Cuchillón y Cerro Carnero, con un poco más de 1000 m.s.n.m. y una diferencia de elevación con respecto al piso del valle variable entre 600 y 800 m. (Figura 3.6)

La forma de los valles es generalmente alargada y de rumbo NNO-SSE haciéndose más amplios al aproximarse a la planicie costera, estando esta última cubierta casi en su totalidad por depósitos de dunas y barjanas. La planicie costera tiene una forma sensiblemente en abanico, estando un ápice en la región del Coyote.



**Figura 3.6** Características geomorfológicas.

**Fuente:** Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996)

### 3.3.2.2 Unidades hidrogeomorfológicas

En el área de estudio, la empresa Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996) definió cuatro unidades hidrogeomorfológicas de acuerdo a la densidad del drenaje, tipo y forma de las corrientes, orden de las corrientes y el patrón de drenaje. A continuación se presenta una tabla de las características de cada unidad, así como un mapa de localización de cada una.

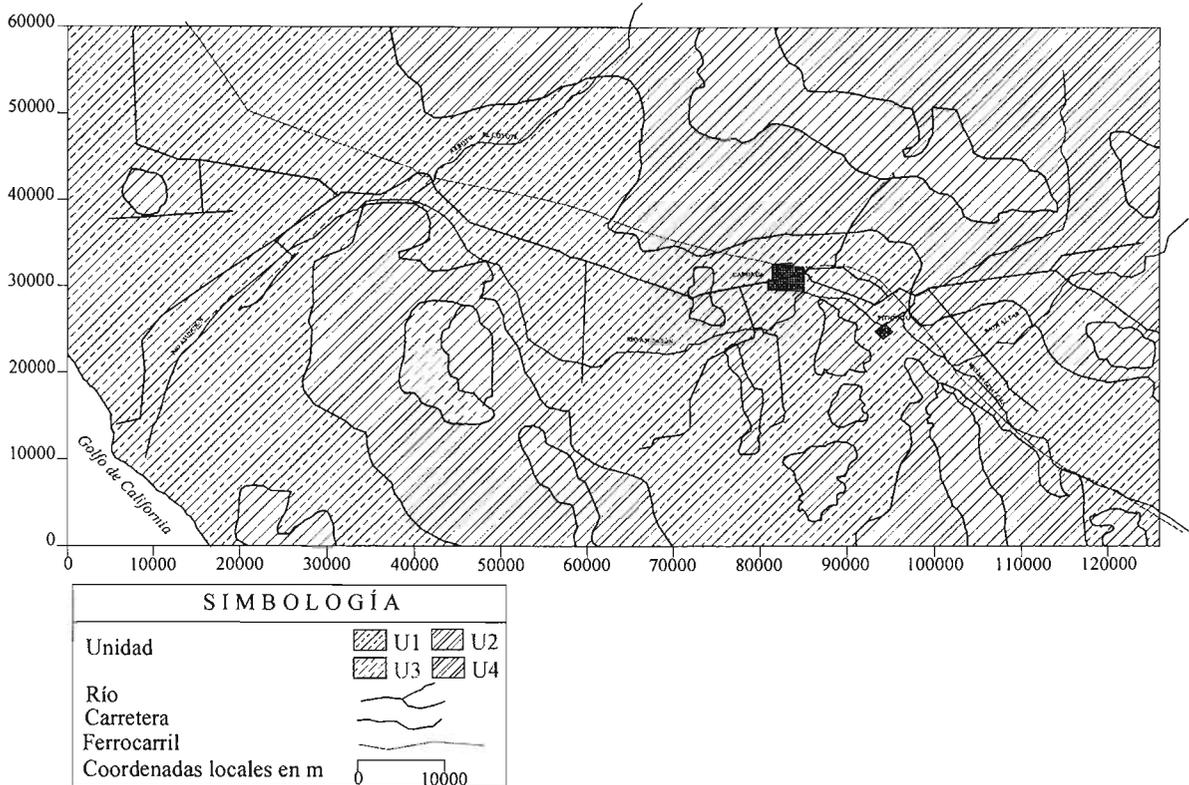


Figura 3.7 Unidades hidrogeomorfológicas.

Tabla 3.18 Relaciones hidrogeomorfológicas de las unidades definidas.

Características	Unidad Hidrogeomorfológica			
	U1	U2	U3	U4
Rango de elevación (m.s.n.m.)	0-400	100-700	300-500	300-1200
Elevación media (m.s.n.m.)	90	325	380	700
Pendiente media (%)	0.3	0.5	3.1	13
Unidad litoestratigráfica	Qal, Qeo, Qla	Qal, Tcg	TR-J(ar-Ti)	J(lm-ar-cg), Pe, kg, etc.
Litología	Gravas, arenas, limos, depósitos eólicos.	Gravas, arenas, conglomerados	Areniscas-Tobas	Limolitas, areniscas, conglomerados, calizas, etc.
Topoformas	Llanura	Bajada	Lomerío	Sierra
Modelo de drenaje	Anastomosado	Dentrítico-Paralelo	Dentrítico	Dentrítico radial
Orden de corrientes	2	1 a 3	2	2 a 3
Densidad de drenaje (Km / Km <sup>2</sup> )	0.06	0.9	0.9	1.5
Permeabilidad	Alta	Alta	Media	Baja a nula

## **3.4 GEOLOGÍA**

La caracterización geológica presente en este trabajo fue obtenida a partir de estudios realizados por la empresa Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996).

### **3.4.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

La cuenca del Río Magdalena – Asunción, se encuentra en la cuenca geológica “Cuenca de Sonora”. Dicha cuenca geológica está limitada al este por la estructura del Gran Geoanticlinal Occidental; al sur, por el Flanco de Sinaloa y al occidente por la Fosa de Cortés

Esta cuenca se caracteriza por la existencia de Afloramientos Precámbricos y Paleozoicos, representadas por rocas sedimentarias, metasedimentarias e intrusivas. (Figura 3.8 y 3.9)

### **3.4.2 LITOESTRATIGRAFÍA**

La secuencia litoestratigráfica de las rocas que afloran en el área, forman una columna geológica cuya edad comprende desde el Precámbrico Inferior hasta el reciente. A continuación se describen estas unidades.

#### **3.4.2.1 Precámbrico**

Dentro de las rocas de edad precámbrica, se tienen: calizas con pedernal, calizas areniscas, dolomitas, conglomerados, y rocas intrusivas y metamórficas, las cuales están expuestas en las vecindades de Caborca y sobre todo hacia el sur de esta población y del Valle Bísani.

En la mitad norte del área de estudio no se encuentra afloramientos del precámbrico. Estas rocas precámbricas, han sido agrupadas y asignadas a una edad que va desde el precámbrico temprano al precámbrico tardío. El precámbrico temprano está representado por un basamento cristalino constituido por granitos,  $P\epsilon(\text{Gr})$  y un importante complejo metamórfico  $P\epsilon(\text{E})$ ,  $P\epsilon(\text{Gn})$ , mientras que el precámbrico tardío se caracteriza por el desarrollo de una secuencia marítima de plataforma, compuesta por rocas clásticas, carbonatadas ( $P\epsilon(\text{cz})$ ) y areno-arcillosas que destacan en discordancia sobre el precámbrico temprano.

#### **3.4.2.2 Paleozoico**

El paleozoico está representado por una secuencia marina principalmente calcárea que cubre los sedimentos del precámbrico tardío. Las rocas paleozoicas se encuentran expuestas en pequeños cerros aislados ubicados principalmente al oeste y sureste de la población de

Caborca. Están representados en su mayoría por calizas, areniscas y lutitas que han sido subdivididas por diversos autores en numerosas formaciones (no diferenciadas en la zona de estudio).

**a) Cámbrico**

La sección más completa del cámbrico está expuesta en los cerros de la Proveedora, compuesta por carbonatos, cuarcitos y lutitas. (P(cz), P(lu-ar)).

**b) Ordovícico-Silúrico**

A unos 23 Km al oeste de Caborca en el área de Bísani, se encuentran tres pequeños cerros aislados formados por calizas masivas (P(cz)) o en capas gruesas con crinoides, con un espesor de 426 m.

**c) Devónico - Misisípico**

Al oeste y noroeste del rancho Bísani, se encuentran afloramientos pequeños del Devónico y Misisípico, constituidos esencialmente por dolomías y calizas (P(cz)). En la localidad de Bísani se han distinguido dos formaciones; Murciélagos y Represo; la primera del devónico superior y la segunda del misisípico inferior y medio. Constituidas principalmente por dolomías de textura variable que va de subhedral de grano fino a dolomía arenosa.

**d) Pérmico**

Se tiene una secuencia sedimentaria de posible edad pérmica, que está expuesta a 50 Km al oeste de Caborca en el campo minero del Antimonio (porción norte de la Sierra El Álamo). Consiste principalmente de lutitas, areniscas, calizas, calizas lutitas y calizas masivas con pedernal (P(cz)) con un espesor de 581 m.

**3.4.2.3 Mesozoico**

Las rocas correspondientes al mesozoico, tienen dentro del área de estudio una extensa distribución horizontal. A través de las edades del Triásico, Jurásico y cretácico, puede observarse una secuencia de rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias que corresponden a granodioritas, granitos no diferenciados, dioritas, monzonitas, volcánicas metamórfizadas y unidades de rocas no diferenciadas.

**a) Rocas ígneas intrusivas [M(Gr), K(Gr) y K(Gd)]**

Dentro del grupo de rocas intrusivas, granitos, granodioritas e intrusivos indiferenciados afloran en la mitad sur del área. Al sureste de Caborca, constituyen la Sierra

de Lista Blanca y Cerro Calera, expresiones morfológicas que separan al valle de Caborca y de los Arrojos. Los intrusivos más antiguos reportados (J(A)), corresponden al del Cerro El Sahuaro determinado como un granito de Muscovita de edad Jurásica Superior. Para el Cretácico, se tienen numerosos afloramientos de intrusivos graníticos, (K(Gr)), granodioritas (K(Gd)) y dioríticos.

#### **b) Rocas sedimentarias y volcánicas**

Dentro del área, las rocas sedimentarias del Mesozoico, están representadas por los materiales clásticos del Mesozoico Inferior. Afloran principalmente en la Sierra del Álamo, compuestas por areniscas calcáreas y limolitas arenosa marinas.

- *Triásico superior*

Las rocas triásicas están únicamente hacia la porción oeste del área de estudio; en la Sierra El Álamo, distante 50 Km al oeste de Caborca y en el campo minero del Antimonio, donde afloran una secuencia marina compuesta por areniscas calcáreas y limolitas arenosas (TR(ar-lm)) con delgadas intercalaciones de calizas y conglomerados.

- *Triásico Jurásico*

Los sedimentos clásticos y volcánicos asignados al Triásico-Jurásico la mayor parte de la porción central y sur de la Sierra el Álamo. Están representados por una secuencia compuesta por areniscas, tobas y derrames andesíticos (TR-J(ar-ti)).

- *Jurásico*

Las rocas jurásicas afloran extensamente la parte norte de las poblaciones de Caborca y Altas, y al oriente de esta última. Principalmente en las Sierras La Gloria-El Álamo, El Chanate, EL Puerto y Cerro Carnero. Estas rocas constituyen una secuencia clásica marina de lutitas, areniscas y lutitas (J(lm-ar-cg)), de aguas poco profundas con algunas intercalaciones de calizas de facies de plataforma y arrecifal.

Al noroeste de Altar, en las vecindades del Cerro El Puerto, se encuentran reducidos afloramientos (J(A)) de andesitas porfídicas asociadas con brechas, aglomerados volcánicos y tobas andesíticas.

#### **c) Rocas metamórficas no diferenciadas (metandesita M(A))**

En la porción centro-occidental de la subcuenca los afloramientos forman las Sierras de La Gloria y del Álamo. En el área de Pitiquito, por efecto de una cabalgadura, esta unidad está debajo de las rocas sedimentarias Precámbricas.

### 3.4.2.4 Terciario

#### a) Rocas ígneas extrusivas

Las rocas comprendidas dentro de la subcuenca hidrográfica, correspondiente al periodo Terciario, se ubican desde el Paleoceno hasta la parte superior del terciario. Las rocas expuestas corresponden a las rocas volcánicas y sedimentarias. Entre las volcánicas se encuentran andesitas y lutitas, emisiones lávicas no diferenciadas y derrames de lavas de rocas ácidas y básicas.

Las rocas volcánicas del terciario se encuentran distribuidas en la parte nordeste de la zona estudiada y formadas en su mayoría por riolitas, andesitas, latitas y tobas. Los depósitos fluviales Cuaternarios cortan a los depósitos de tobas en los cauces de los innumerables arroyos que descienden para concluir en el Arroyo del Plomo, del Coyote y Río Asunción.

- *Andesitas (T(A))*

Derrames andesíticos de textura porfírica, con fracturamiento intenso. Esta unidad cubre discordantemente al complejo granodiorítico del Cretácico Superior (al sureste de Desemboque), pero también se observan reducidos afloramientos en las planicies al noreste de Caborca.

- *Riolitas y tobas (T(R-Ta))*

Se compone por una secuencia volcánica de tobas líticasriolíticas e ignimbritas riolíticas. En el área de estudio se encuentran escasos afloramientos situados al nordeste de Altar.

- *Toba (T(Ta))*

Durante el mioceno se generó una secuencia volcánica de tobas pumíticas y tobas arenosas, la cual aflora apenas, en reducidas extensiones que se encuentran al noreste del campo minero del Antimonio (porción norte de la Sierra El Álamo) donde sobreyace a rocas triásicas.

#### b) Rocas sedimentarias

- *Conglomerados (Tcg)*

Consiste en conglomerados polimícticos; principalmente con fragmentos volcánicos. Se encuentran escasamente compactados y cementados, presentan estratificación cruzada en algunos sitios. Afloran sobre todo en las porciones nordeste y este del área de estudio.

### 3.4.2.5 Cuaternario

#### a) Rocas volcánicas (QB)

A fines del Terciario y principios del Cuaternario tuvo lugar una importante actividad volcánica de naturaleza basáltica-alcalina, que ha sido relacionada; junto con la tectónica distensiva de fallas normales, con los episodios de apertura del Golfo de California.

En el área de estudio se encuentran escasos afloramientos al oeste de Coyote, y en el Arroyo El Coyote. Están constituidos por basaltos de olivino de textura afanítica y estructura vesicular (QB).

**b) Rocas sedimentarias**

- *Depósitos aluviales fluviales y suelos residuales (Qal)*

Las rocas sedimentarias, por su distribución y por su naturaleza, representan la unidad geológica de mayor importancia. Su granulometría se compone de arenas, gravas y limos, se encuentran distribuidas en dos grandes grupos: depósitos aluviales que ocupan las áreas peneplaneadas o áreas de valle.

La distribución horizontal de los sedimentos clásticos ocupa la mayor superficie del área de estudio, constituyendo espesores importantes que rellenaron depresiones estructurales.

- *Depósitos eólicos (Qeo)*

Estos depósitos se componen de dunas y bajanes, que se han desarrollado en la parte noreste del área estudiada, dentro de la zona Coyote-Desemboque.

Se han originado debido al acarreo, por el viento, de partículas limo arenosas, procedentes de las regiones litorales y lacustre.

- *Depósitos lagunares (Qla)*

Estos sedimentos poseen una granulometría que varía entre limos y arcillas, los cuales han sido depositados en las zonas de lagunas marginales intermitentes que bordean la costa, en la porción occidental del área de estudio.

En la siguiente figura se puede apreciar la distribución geológica en el área de estudio así como la ubicación de tres perfiles geológicos que son caracterizados en el siguiente punto.

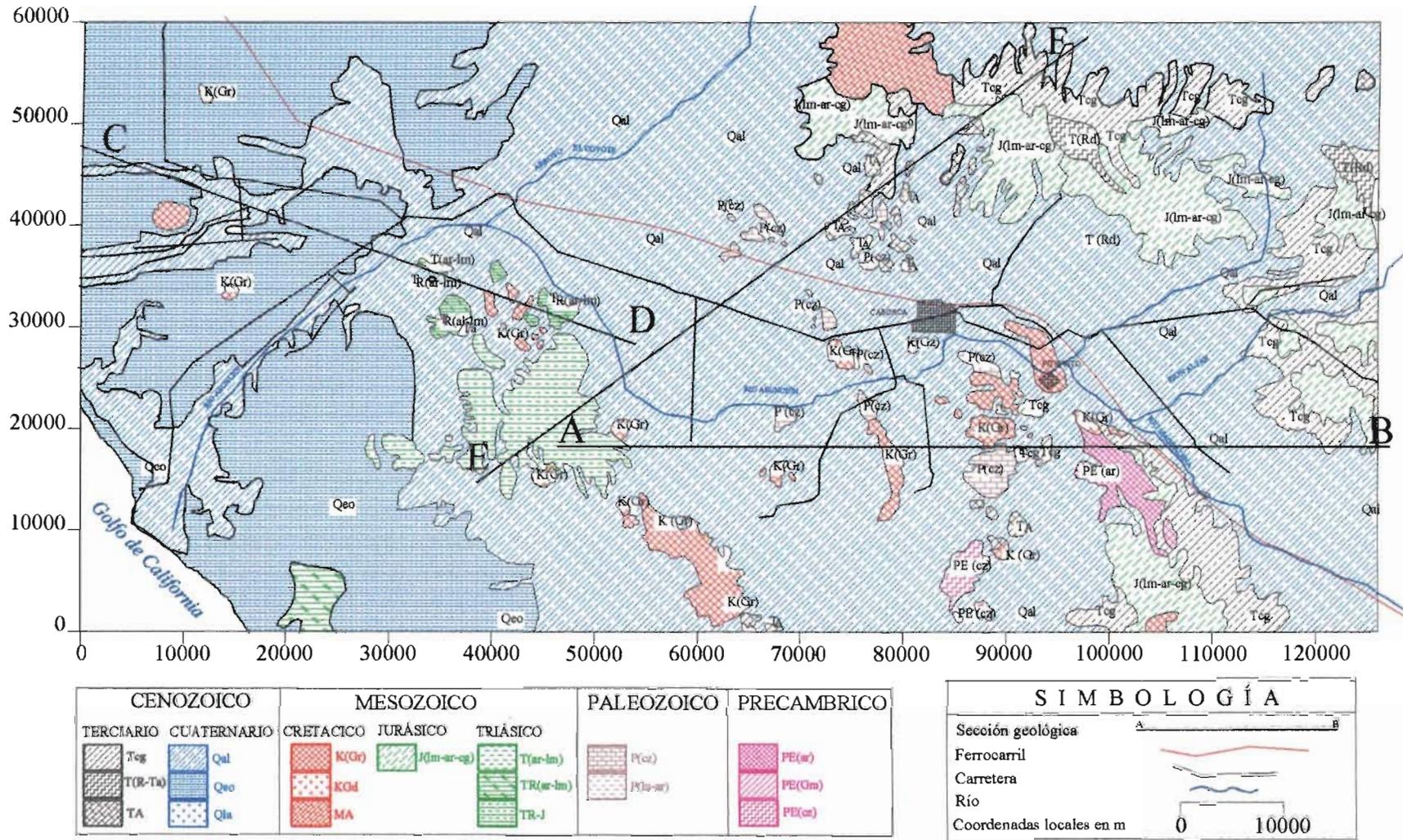


Figura 3.8 Características geológicas de Caborca  
 Fuente: Hidrosistemas Universales S.A. de C.V. (1996)

### **3.4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO**

El contexto geológico estructural y estratigráfico que comprende el área de estudio es descrito por Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996) a través de las secciones geológicas A-B, C-D Y E-F, las cuales fueron interpretadas mediante el análisis de la información geológica superficial, sondeos eléctricos verticales, cortes litológicos de pozos, etc. La ubicación de los perfiles se puede ver en la figura 3.8 y la caracterización de los perfiles en las figuras 3.9a, 3.9b y 3.9c.

La sección geológica A-B pasa al sur de Caborca y tiene un rumbo este-oeste, donde destaca la presencia de rocas ígneas intrusivas cretácicas en la mayor parte de los bloques montañosos afectando a rocas Precámbricas, Paleozoicas y del Mesozoico inferior

La sección C-D, ubicada en la porción occidental del área de estudio se desarrolla a partir de la Sierra El Álamo hacia el O-NO hasta la bahía de San Francisquito, en ella se aprecia una mayor extensión de los valles y probablemente un espesor de sedimentos de relleno más potente. El basamento de estos sedimentos consiste en lutitas y areniscas Paleozoicas.

La sección geológica E-F, cruza diagonalmente parte del área de estudio, desde la porción sur de la Sierra El Álamo hasta el Cerro El Álamo (Al norte de Caborca).. El relleno sedimentario de los valles generalmente descansa sobre un basamento Paleozoico-Triásico constituido por calizas, areniscas y limolitas.

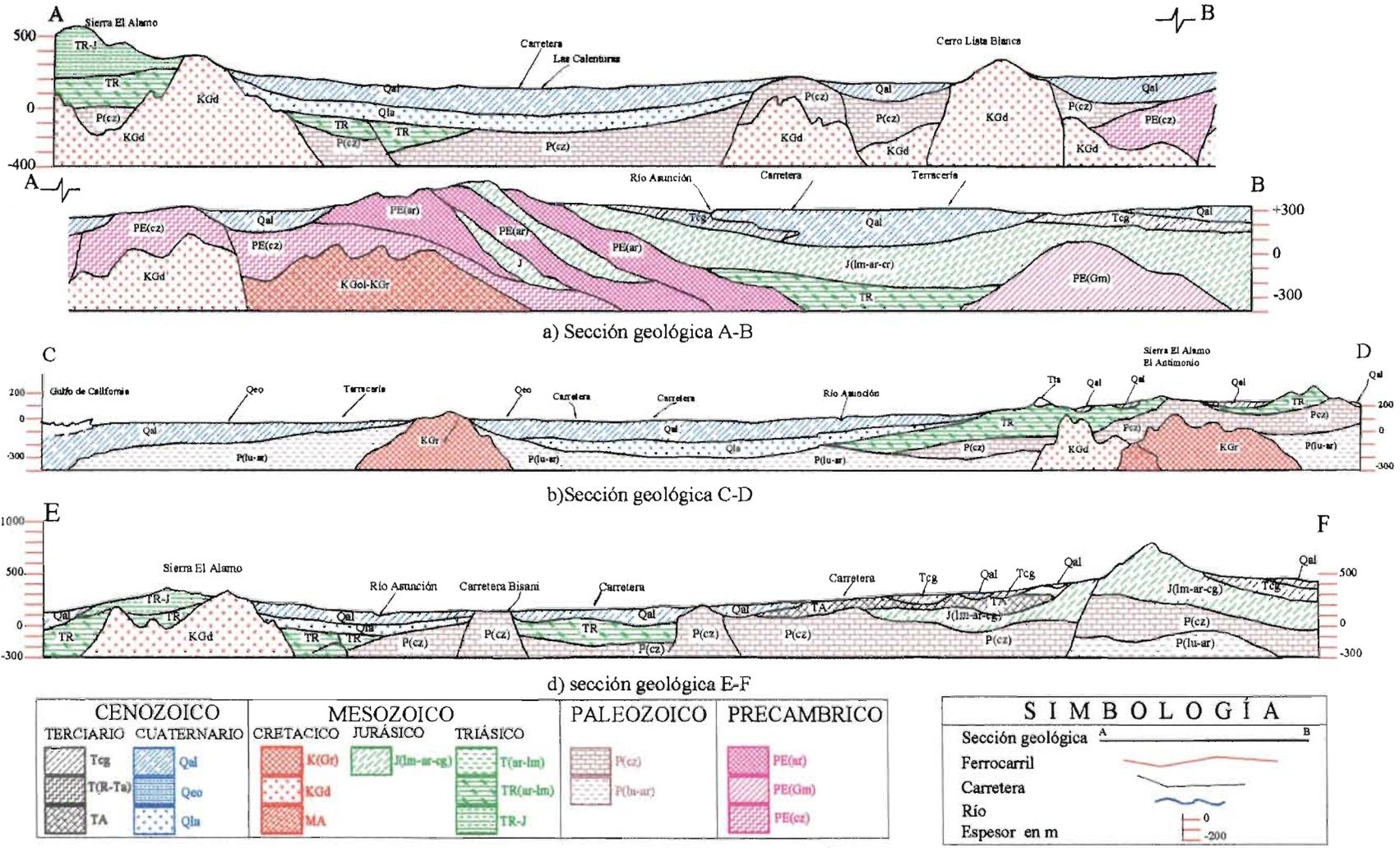


Figura 3.9 Características de las secciones geológicas.  
Fuente: Hidrosistemas Universales (1996)

La empresa Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996), aún cuando no contó con información de cortes litológicos de pozos, elaboró un plano que muestra la configuración topográfica aproximada del basamento (Figura 3.10) mediante el análisis de la información geofísica del área (sondeos eléctricos verticales) y algunos perfiles geológicos existentes. En dicha configuración se aprecian depresiones en el basamento del orden de  $-50$  m.s.n.m., en el área de Bísani a Coyote. Depresiones topográficas del basamento mayores se aprecian entre la zona de Coyote a Desemboque hacia la línea de playa; en ésta zona las depresiones alcanzan hasta  $-300$  o  $-400$  m.s.n.m. y conforma una elevación montañosa sepultada que se deduce por la presencia del Cerro Blanco y otros pequeños cerros de escasa altura, que conforman una barrera hacia el mar.

La misma empresa menciona que los sedimentos clásicos del Cuaternario-Terciario Superior, que rellenan los valles aparentemente pueden presentar espesores máximos de 400 m, como es el caso del área situada entre Coyote y Desemboque, así como en el área de Bísani. Estos sedimentos representan el de mayor interés hidrogeológico, debido a que constituyen el material que aloja al acuífero de la región.

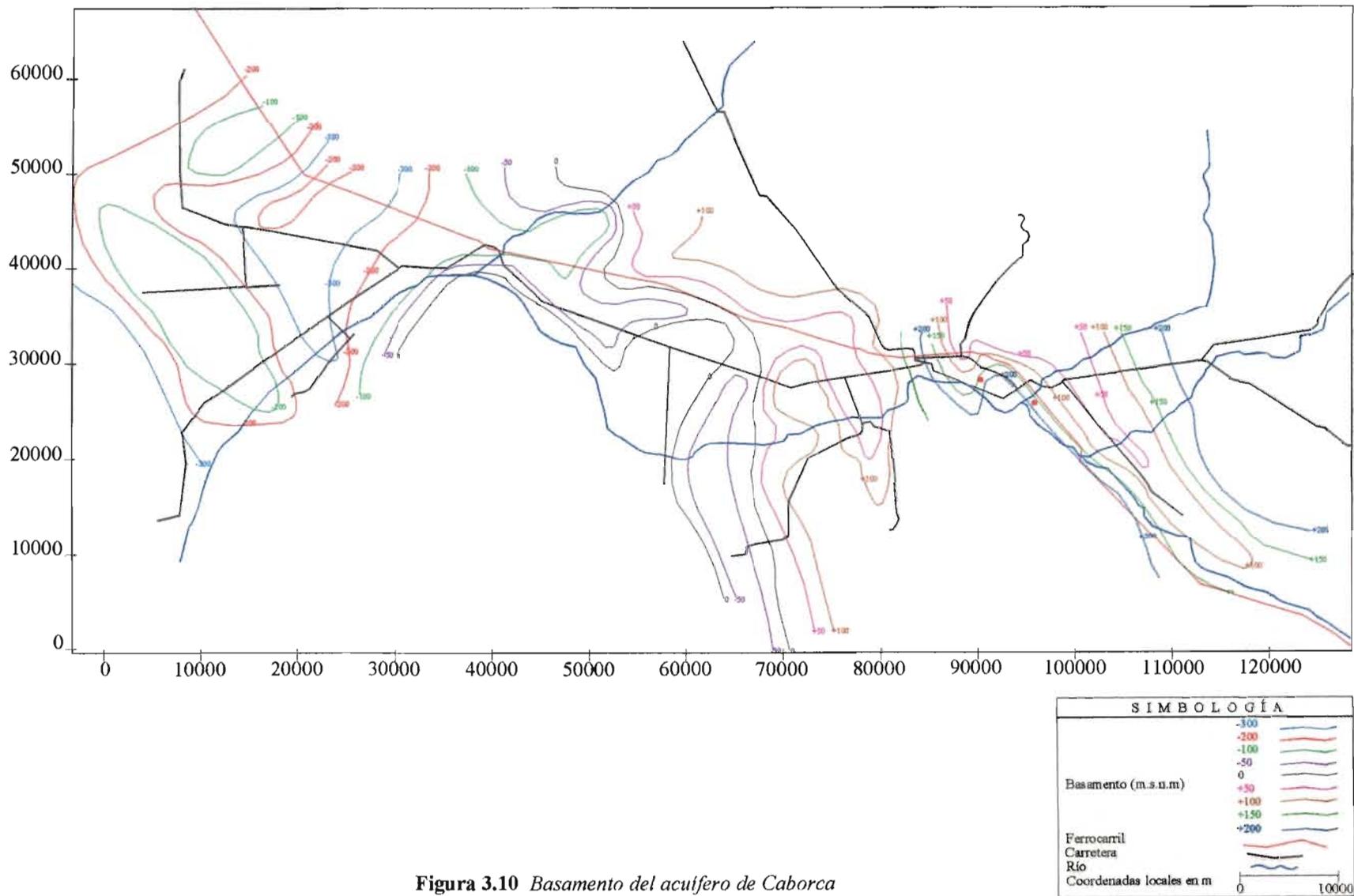
#### **3.4.4 AMBIENTE DE DEPÓSITO**

Desde el punto de vista hidrogeológico la unidad litoestratigráfica más importante es la correspondiente a los sedimentos clásicos de edad Cuaternaria y fines del Terciario. Estas están constituidas principalmente por sedimentos continentales de ambiente aluvial, lacustre, fluviolacustre, eólicas y lagunar marginal.

A fines del Terciario, debido a un relieve juvenil, se originaron sedimentos de grano grueso que se depositaron en ambientes fluviales de mayor energía; sin embargo, existieron colateralmente otros ambientes de energía menor, como de cuenca de inundación cuya relación da como resultado variaciones litológicas laterales y verticales. De esta manera, se puede apreciar un mayor espesor de sedimentos de grano grueso desde Pitiquito hasta la región de Coyote con algunas variaciones laterales, donde se involucran arenas, gravas y boleas con iteraciones de lentes arcillosos.

Entre Coyote y Desemboque, los limos arenosos están sobre un fuerte espesor de sedimentos arcillosos de color azul con intercalaciones de gravillas.

**ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA**



**Figura 3.10** Basamento del acuífero de Caborca

**Fuente:** *Hidrosistemas Universales (1996)*

## **3.5 HIDROGEOLOGÍA**

### **3.5.1 HIDROESTRATIGRAFÍA**

#### **3.5.1.1 Unidad hidroestratigráfica A**

Esta unidad comprende únicamente rocas de edad precámbrica, compuestas en su mayor parte por rocas ígneas intrusivas, metamórficas y sedimentarias. Su comportamiento hidrogeológico es principalmente impermeable. Puede existir permeabilidad secundaria por fracturas en rocas sedimentarias, tales como areniscas y calizas. Sin embargo, en conjunto funcionan como fronteras impermeables.

#### **3.5.1.2 Unidad hidroestratigráfica B**

Esta unidad comprende casi en su totalidad rocas sedimentarias de edad Paleozoico – Jurásica, con algunas intercalaciones de tobas del Triásico-Jurásico. Su naturaleza litológica incluye limolitas, areniscas, conglomerados, tobas, lutitas, calizas y dolomías.

Por su naturaleza litológica se considera que esta unidad es impermeable, aunque puede contener cierta permeabilidad secundaria a través de fracturas, cruceros y planos de estratificación.

#### **3.5.1.3 Unidad hidroestratigráfica C**

Esta unidad está compuesta por rocas ígneas intrusivas, principalmente graníticas, rocas volcánicas y metavolcánicas cuya edad varía del Jurásico al cretácico.

Esta unidad es prácticamente impermeable que salvo por intemperismo y fracturamiento, puede crear una cobertura delgada que propicie cierta infiltración hacia las partes bajas.

#### **3.5.1.4 Unidad hidroestratigráfica D**

Esta unidad agrupa rocas volcánicas de edad Terciaria (Eoceno-Mioceno) representadas por flujos andesíticos, ignimbritas riolíticas y tobas de textura variable. Esta unidad ocupa reducidos afloramientos situados al norte de Caborca y en la región de Coyote. El comportamiento es de baja permeabilidad; localizada principalmente en zonas de fracturas, contacto entre unidades litológicas y en las tobas de textura arenosa; transmitiendo el agua subterránea hacia los sedimentos de relleno aluvial del valle.

Las unidades hidroestratigráficas descritas carecen de interés hidrogeológico, ya que se pueden considerar prácticamente impermeables. Debido a su amplia distribución constituyen

una zona de captación de precipitación pluvial, que se desplaza como escurrimiento superficial y flujo subsuperficial hacia las partes bajas donde se encuentra el relleno aluvial.

**3.5.1.5 Unidad hidroestratigráfica E**

Esta unidad se encuentra constituida por gravas, arenas, arcillas y materiales tobaceos, que presentan leve compactación y cementación. Forman una delgada cubierta sobre el lecho rocoso de las sierras adyacente; hidrogeológicamente impiden la infiltración del agua de los escurrimientos superficiales. Esta unidad es de edad Terciario Superior.

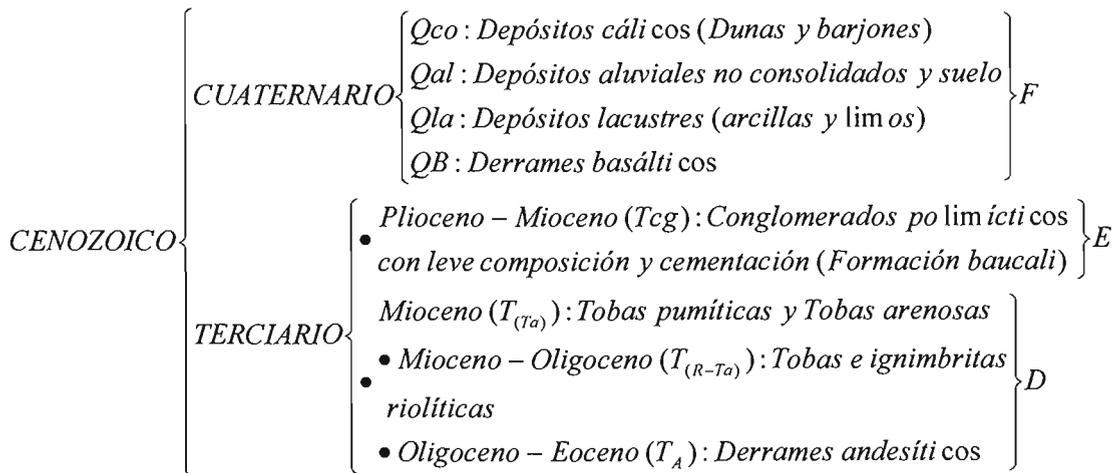
Se distribuye hacia las partes bajas de las sierras: La Gloria, El Chanate (al norte y noreste de Caborca), y en las sierras: La víbora, El Rajón y Cerro Prieto, situadas al sureste de Pitiquito.

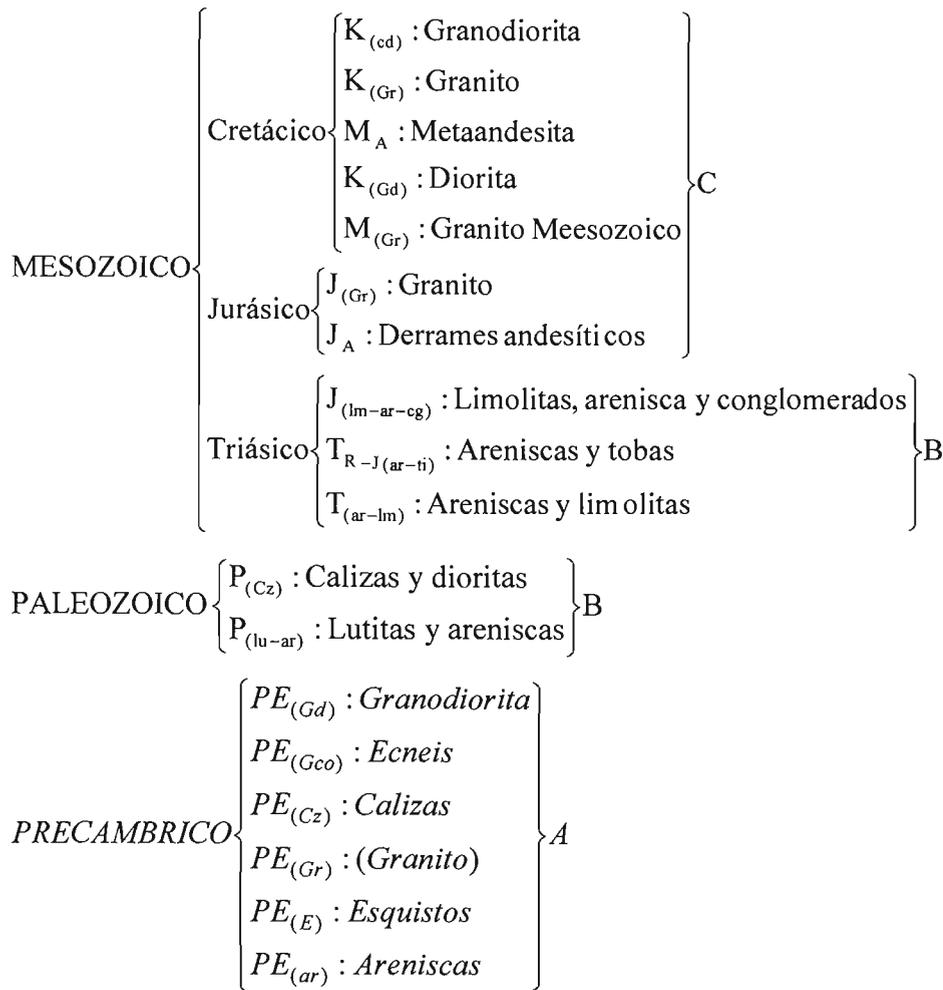
**3.5.1.6 Unidad hidroestratigráfica F**

Esta unidad consiste principalmente en sedimentos aluviales del Cuaternario. Presentan una granulometría diversa (boleos, gravas, arenas y limos), en su mayor parte por sedimentos no consolidados de permeabilidad alta, las cuales alojan al acuífero del valle de Caborca.

Se encuentran depósitos de grano grueso sobre las laderas de ciertas elevaciones montañosas situadas hacia la margen izquierda del Río Asunción, las cuales no forman parte del acuífero debido a que el agua infiltrada se transmite rápidamente hacia la ribera de dicho río, o al valle Bísani y la zona del Coyote

A continuación se presenta un resumen de los materiales que constituyen a cada unidad hidroestratigráfica.





### 3.5.2 CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA

El acuífero de Caborca es de tipo libre ubicado en la unidad hidroestratigráfica F compuesta por rocas sedimentarias del cuaternario y para llevar a cabo la simulación del flujo subterráneo es necesario contar con sus propiedades hidráulicas que son el rendimiento específico y conductividad hidráulica del acuífero.

#### 3.5.2.1 Rendimiento específico

De los estudios realizados en la zona de estudio para la determinación de la capacidad de almacenamiento destacan los siguientes: Técnicas Modernas de Ingeniería (1975), obtuvo mediante la interpretación de pruebas de bombeo que contaron con pozo de observación valores del rendimiento específico que varían de 0.00008 a 0.10. Sin embargo, no los consideraron como representativos debido al tiempo de duración de la prueba, ya que la presencia de lentes de material fino disminuye la permeabilidad vertical del acuífero, lo cual

induce un semiconfinamiento que retrasa la respuesta del nivel freático al bombeo. Consideraron que regionalmente y a largo plazo el acuífero es libre, por lo que determinaron otros valores mediante procedimientos estadísticos. Resultando ser los siguientes:  $0.126 \text{ m}^3/\text{m}^3$  en el área Pitiquito Caborca,  $0.14 \text{ m}^3/\text{m}^3$  en el área de Bísani y  $0.123 \text{ m}^3/\text{m}^3$  en el área Coyote Costa. Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996) obtuvo, mediante la reinterpretación de pruebas de bombeo, valores de 0.00022 a 0.1165. Ariel consultores (1997) consideró un valor promedio de  $0.14 \text{ m}^3/\text{m}^3$  para todo el acuífero y el IMTA (2002) un valor de  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$  para todo el acuífero.

Basándose en lo anterior y a las características geológicas del acuífero en este estudio se aplicó un valor de  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$  para todo el acuífero, el cual de acuerdo a la revisión de literatura es adecuado para un acuífero libre.

### 3.5.2.2 Conductividad hidráulica

Los valores obtenidos de la conductividad hidráulica por Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996) varían de 1.65 m/día a 65 m/día, obtenidos de 22 pruebas de bombeo realizadas en la zona de estudio, los cuales fueron tomados como la condición inicial en el proceso de calibración del modelo realizado por dicha empresa. La distribución final por zona de la conductividad hidráulica obtenida por la empresa, se presenta en la siguiente figura, misma que fue tomada como base por el IMTA para llevar a cabo la modelación del acuífero, IMTA (2001).

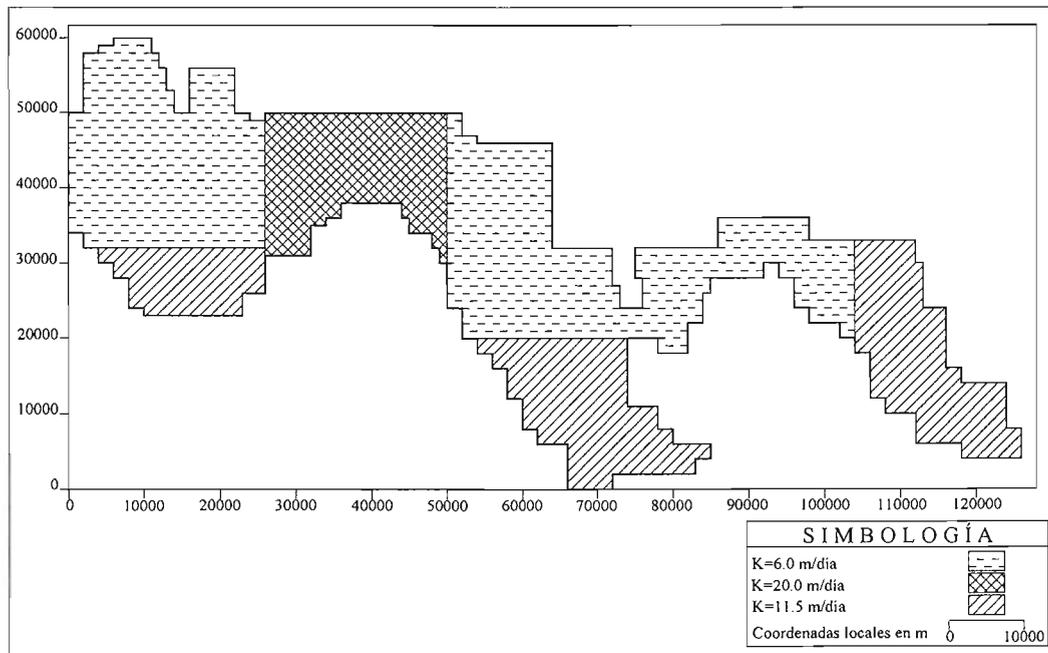


Figura 3.11 Distribución de la Conductividad hidráulica.

Fuente: Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996)

### 3.5.3 HIDROMETRÍA DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

De la ASUDIR 037 se obtuvieron los volúmenes extraídos para el periodo de 1996-1997 al 2000-2001. Durante estos cinco periodos se tienen registrados una total de 841 pozos, de los cuales algunos no se encuentran operando, ya que sólo 792 pozos reportan un volumen de extracción en por lo menos un año. (Tabla 3.19).

Para el periodo 1996-1997 y 1997-1998 se detectaron tres pozos con altos gastos de 12.36 a 17.87 Mm<sup>3</sup>/año, lo cual no es posible ya que se requeriría una bomba capaz de bombear de 400 a 566 l/s trabajando las 24 horas del día los 365 días del año, por lo que se dividió el gasto entre diez para dar un gasto más congruente con los valores de los demás pozos. El máximo volumen de extracción anual una vez haciendo estos ajustes es de 2.703 Mm<sup>3</sup> para el periodo de 1996-1997 y los volúmenes resultantes se presentan en la tabla 3.19.

**Tabla 3.19** *Volumen total de extracción de los pozos con registro*

Periodo	Cantidad de Pozos			Extracción (Mm <sup>3</sup> )
	Registrados	Sin extracción	Con extracción	
1996-1997	792	43	749	654.296
1997-1998	792	43	749	584.255
1998-1999	792	87	705	543.280
1999-2000	792	134	658	468.744
2000-2001	792	161	631	383.474

Para el primer periodo 1996-1997 de los 792 pozos con registro de extracción 43 pozos no operaron, ya que no registran gasto de extracción en este periodo, pero operan por lo menos durante un periodo siguiente.

De los 792 pozos, 755 fueron ubicados de acuerdo a las coordenadas reportadas Hidrosistemas Universales S.A. de C.V (1996), ya que 37 pozos que no se encontraron en dicho reporte, por lo que se procedió a ubicarlos con la ayuda de dos planos proporcionados por la CNA uno de 1994 y otro del 2001. Se lograron ubicar 26 pozos de los 37, quedando 11 pozos sin coordenadas.

Una vez ubicados los pozos se observó que 47 de ellos quedan fuera de las fronteras del acuífero y 11 sin coordenadas, por lo que para el modelo se consideraron 734 pozos. En el Anexo I se pueden ver las características de los pozos.

A continuación se presenta una tabla con el número de pozos con volumen de extracción y el volumen de extracción a modelar por año.

**Tabla 3.20** Volumen total de extracción de los pozos a modelar

Periodo	Cantidad de pozos			Extracción (Mm <sup>3</sup> )
	Registrados	Sin extracción	Con extracción	
1996-1997	734	30	704	625.26
1997-1998	734	30	704	558.33
1998-1999	734	80	654	518.37
1999-2000	734	117	617	448.20
2000-2001	734	146	588	363.91

A continuación se presenta una tabla en la cual se puede apreciar el número de pozos por cada una de las zonas, así como el gasto de extracción para cada uno de los periodos.

**Tabla 3.21** Volumen total de extracción por zona

Zonas	Número de pozos	96-97 (Mm <sup>3</sup> /año)	97-98 (Mm <sup>3</sup> /año)	98-99 (Mm <sup>3</sup> /año)	99-00 (Mm <sup>3</sup> /año)	00-01 (Mm <sup>3</sup> /año)
1	107	86.365	77.120	63.478	55.560	39.281
2	115	94.267	84.176	73.709	57.309	44.291
3	81	50.439	45.040	37.610	27.385	25.934
4	86	67.179	59.987	51.715	48.186	40.341
5	95	91.104	81.351	91.637	84.308	71.846
6	80	66.712	59.570	63.224	63.586	49.394
7	95	93.924	83.869	81.421	64.991	58.775
8	75	75.270	67.213	55.573	46.879	34.051
Total	734	625.258	558.326	518.367	448.205	363.911

La profundidad del ademe también se obtuvo de Hidrosistemas Universales S.A. de C.V, que reporta dicha información para de 315 pozos. Los demás fueron estimados basándose en el basamento del acuífero (figura 3.10), la profundidad del nivel estático y el valor de la profundidad del ademe de pozos circundantes.

La distribución de los pozos se puede apreciar en la figura 3.12. Las tachas en rojo son los pozos que quedan fuera de las fronteras del acuífero y las cruces en negro son los que se van a considerar en el modelo.

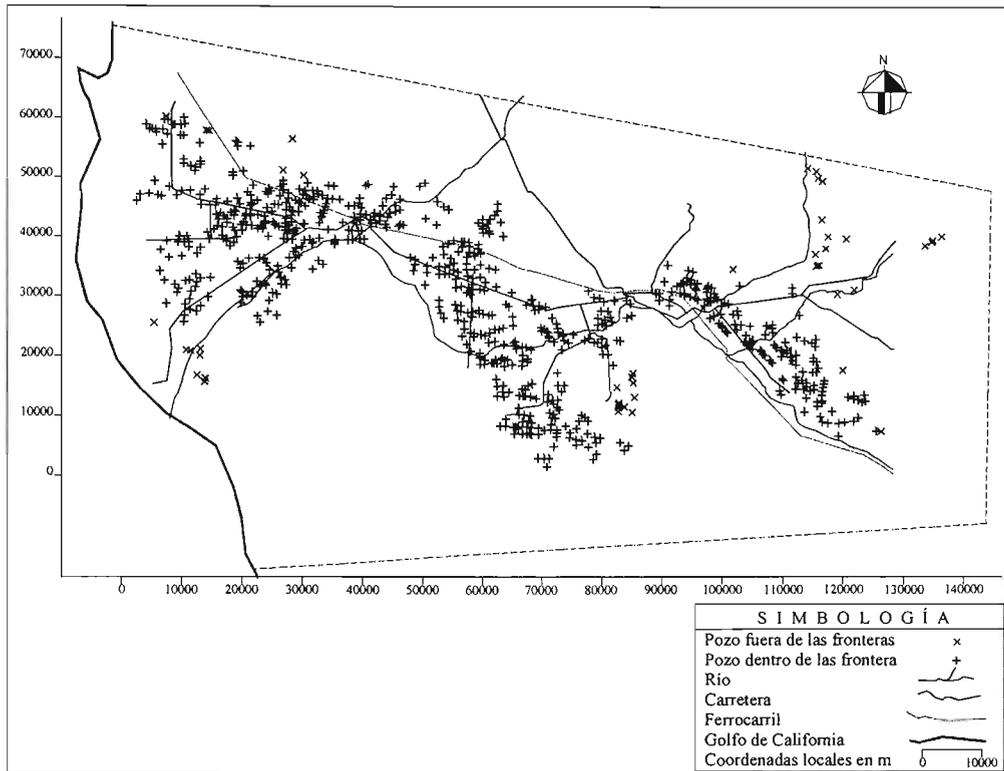
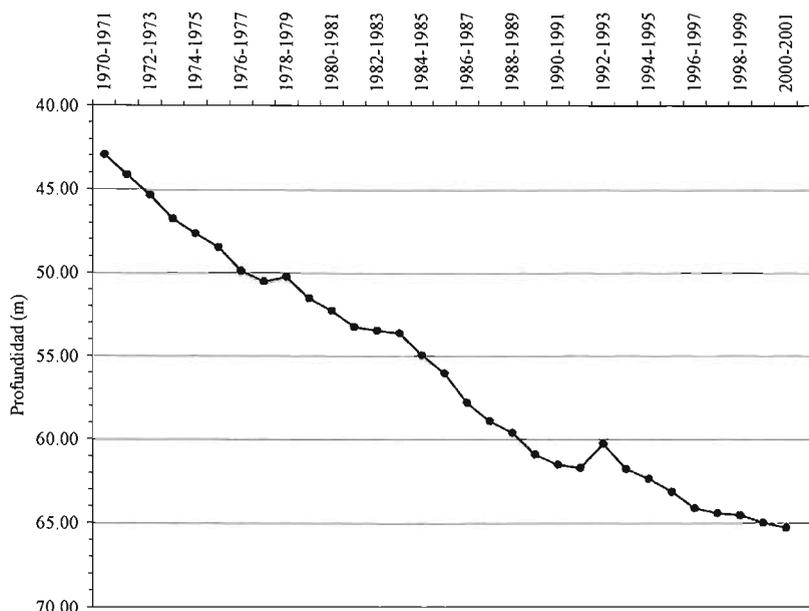


Figura 3.12 Distribución de los pozos de bombeo

### 3.5.4 PROFUNDIDAD Y ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Para el periodo de 1970-1971 el promedio de la profundidad del nivel estático en el acuífero de Caborca se encontraba a 43 m y después de 30 años para el periodo de 2000-2001 la profundidad se encuentra a 66.13 m, esto quiere decir que el acuífero se ha abatido más de 20 metros en este periodo de tiempo. Dicha evolución se puede ver en la **gráfica 3.5**



**Gráfica 3.5** Evolución de la profundidad media del nivel estático en el acuífero de Caborca.

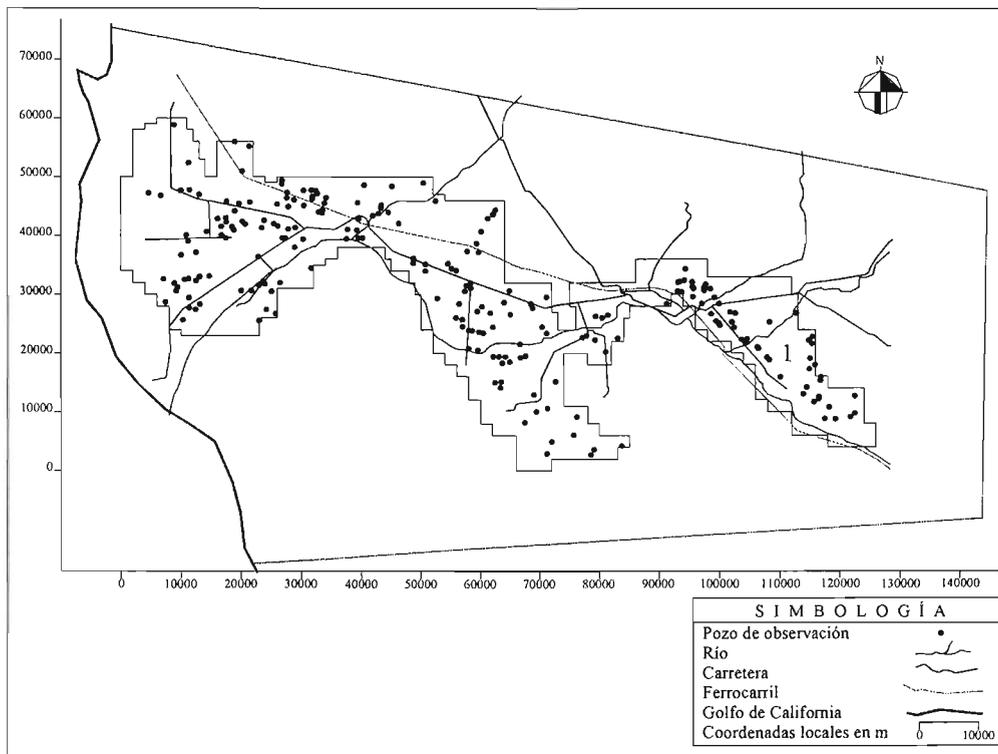
**Fuente:** IMTA (2002)

Se analizaron los niveles estáticos de 264 pozos para los años de 1996 al 2001, los cuales fueron proporcionados por la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 037. En la tabla 3.22 se presentan los valores representativos de la profundidad del nivel estático y el abatimiento medio anual en el acuífero. La distribución de los pozos se puede apreciar en la figura 3.13 y la profundidad del nivel estático en el anexo I.

**Tabla 3.22** Valores característicos de la profundidad del nivel estático y abatimiento medio anual

Periodo	Mínimo (m)	Máximo (m)	Medio (m)	Desviación estándar (m)	Abatimiento (m)
1996	12.52	121.06	61.97	23.43	1.19
1997	12.75	122.60	63.16	23.42	0.99
1998	14.14	123.66	64.15	23.35	0.84
1999	13.47	122.24	64.99	23.74	0.69
2000	14.25	122.44	65.67	23.84	0.46
2001	14.4	123.04	66.13	24.18	

Como se puede ver en la tabla anterior la profundidad mínima, máxima y media del nivel estático han incrementado con el paso del tiempo. El abatimiento medio anual ha disminuido, pero aún no se logra su estabilización.



**Figura 3.13** *Distribución de los pozos con muestreo de la profundidad del nivel estático*

Se llevó a cabo una interpolación de la profundidad del nivel estático mediante el programa de cómputo Surfer 7.0. Se obtuvieron planos de isolíneas del nivel estático para los años 1996-2001, los cuales se pueden apreciar en la figura 3.14 a la 3.19.

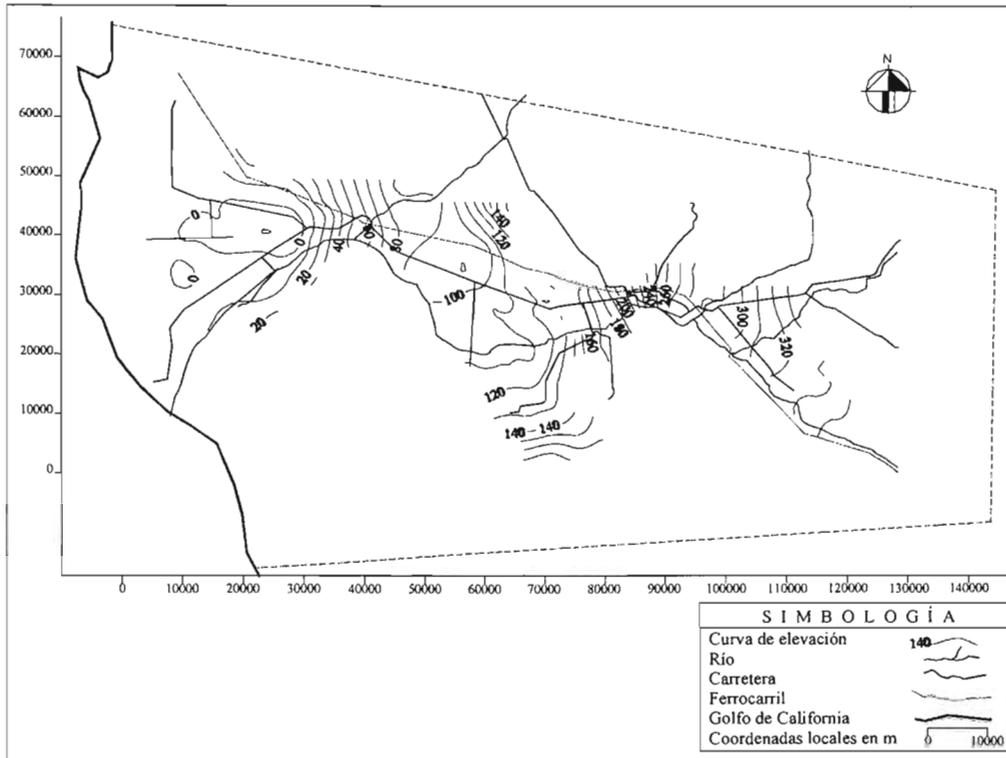


Figura 3.14 Elevación del nivel estático para el año 1996 en m.s.n.m.

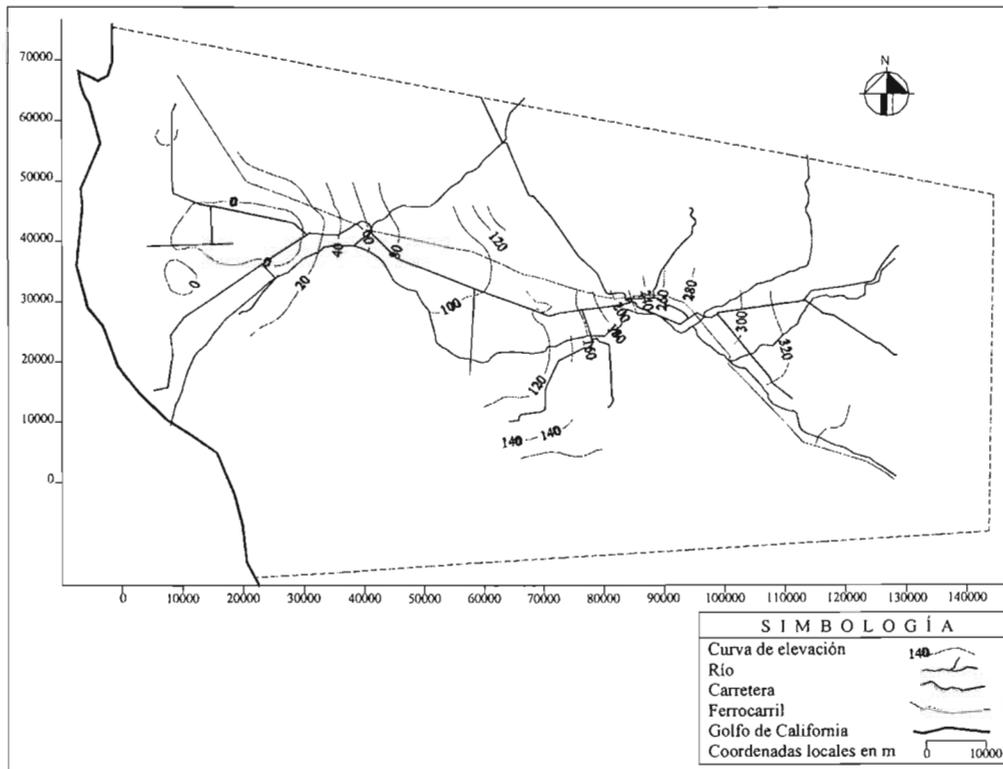


Figura 3.15 Elevación del nivel estático para el año 1997 en m.s.n.m.

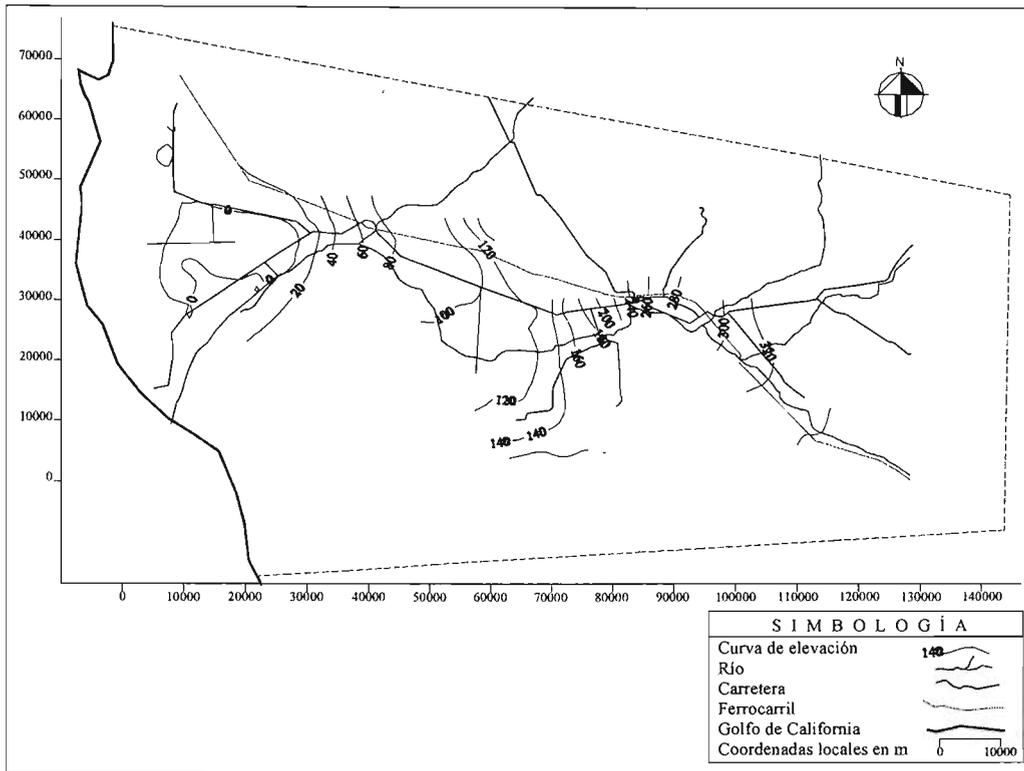


Figura 3.16 Elevación del nivel estático para el año 1998 en m.s.n.m.

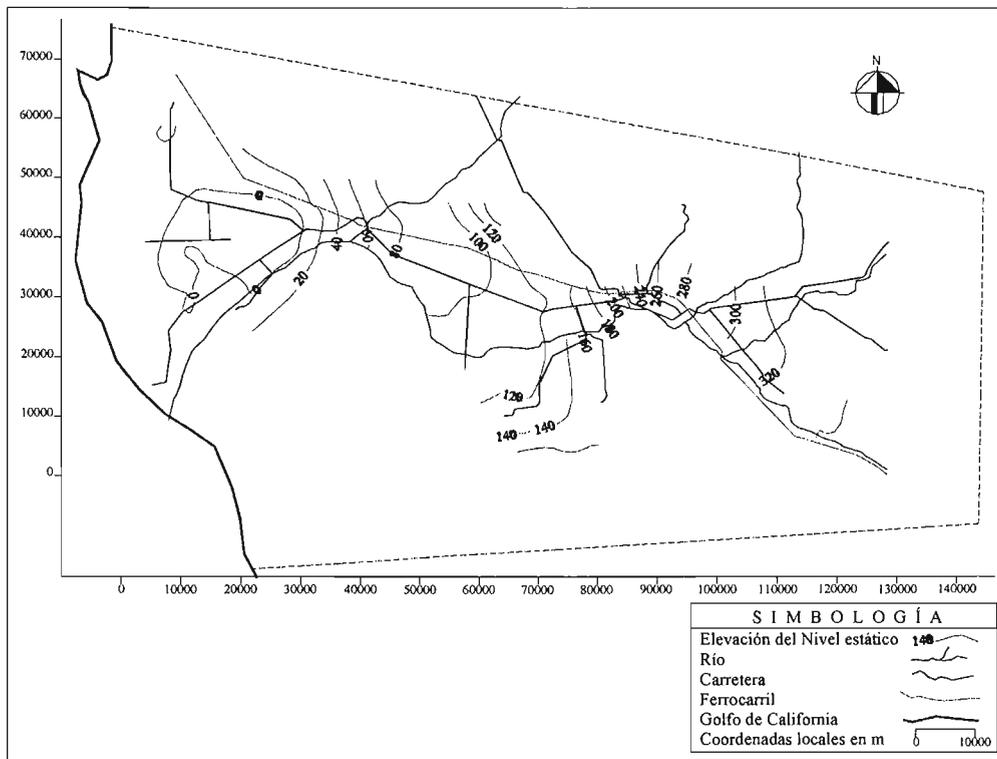


Figura 3.17 Elevación del nivel estático para el año 1999 en m.s.n.m.

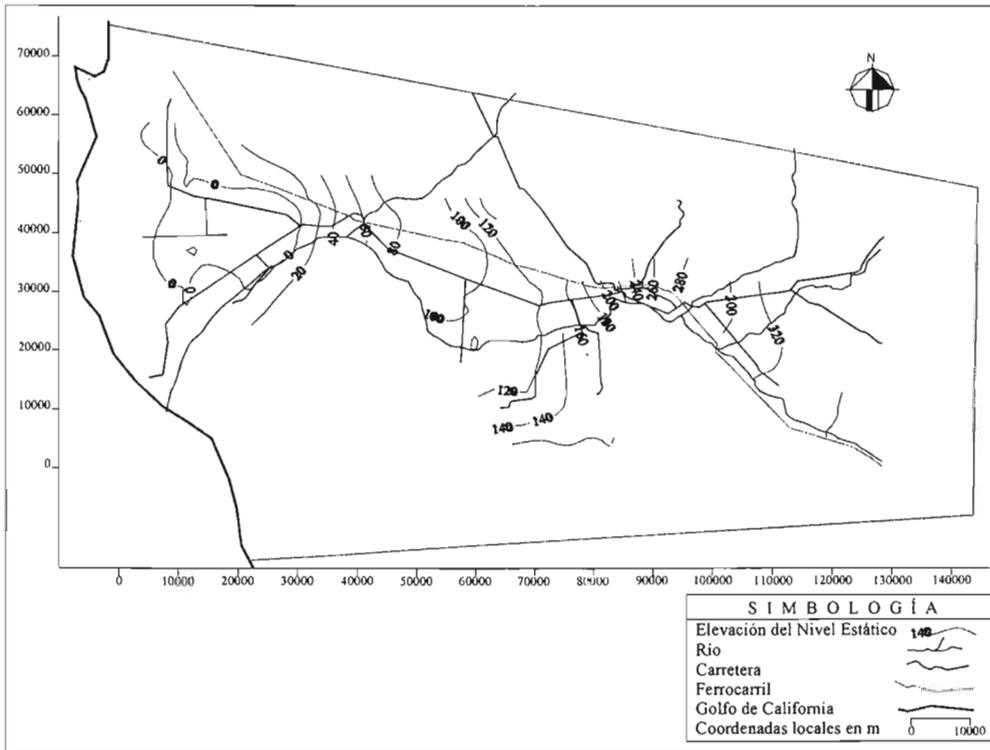


Figura 3.18 Elevación del nivel estático para el año 2000 en m.s.n.m.

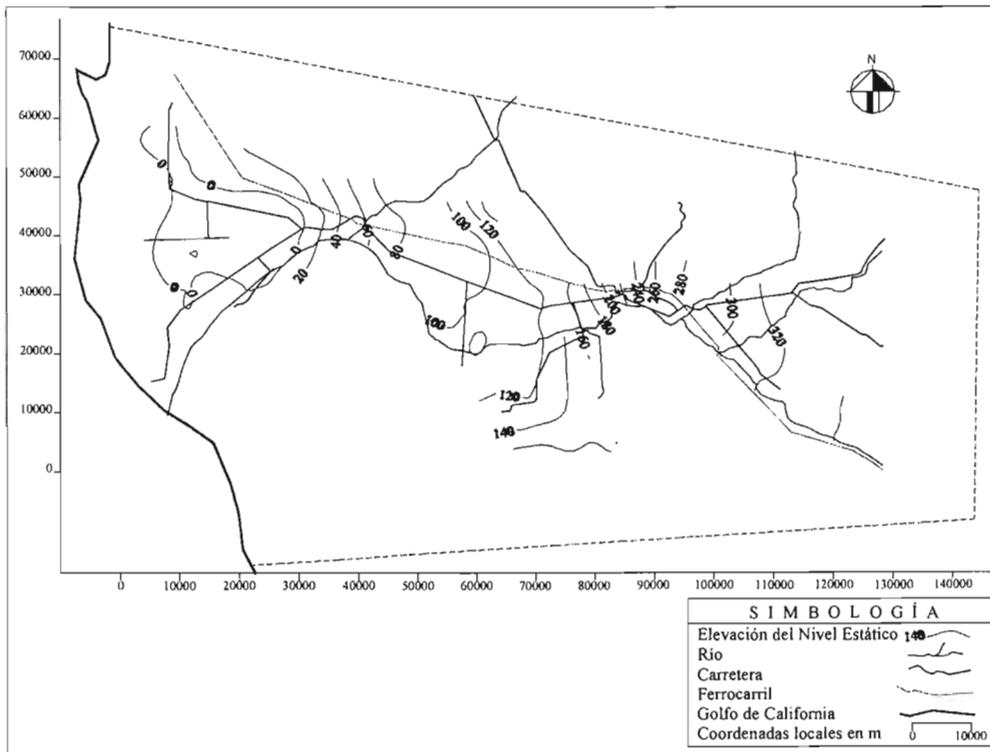


Figura 3.19 Elevación del nivel estático para el año 2001 en m.s.n.m.

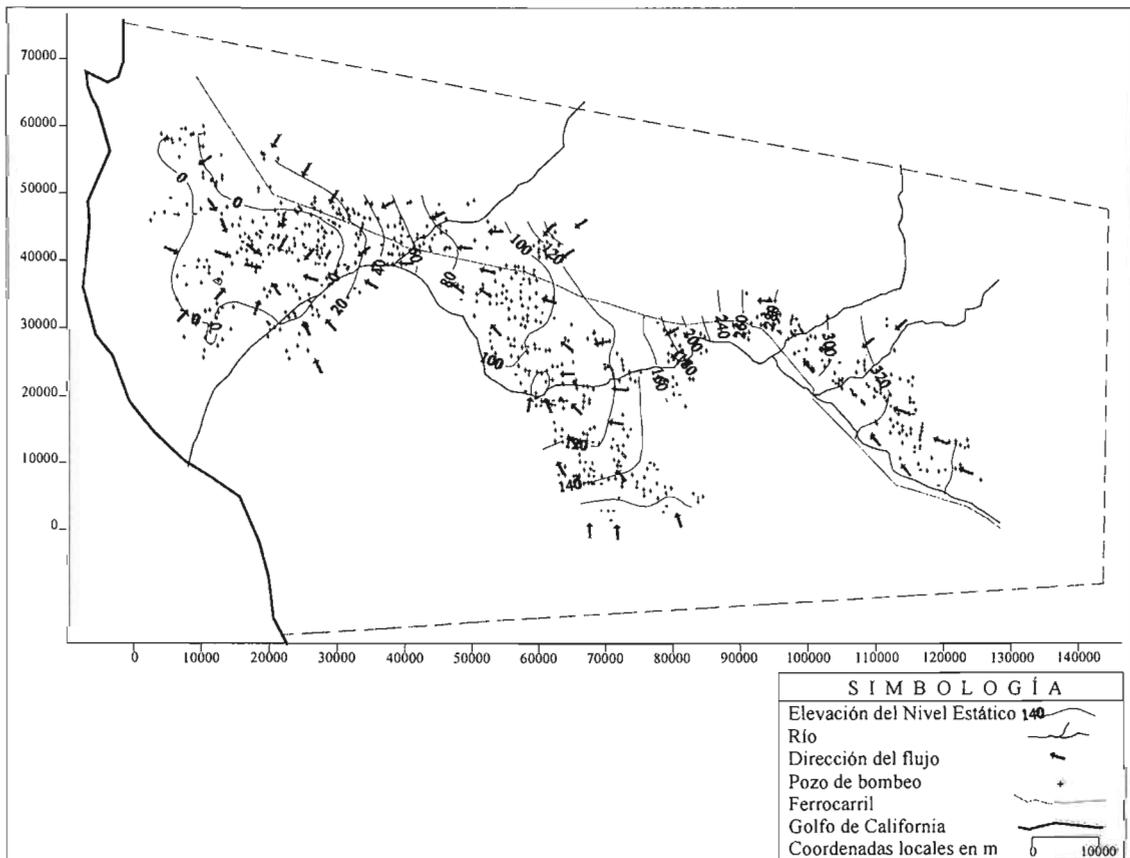
En los planos presentados anteriormente se puede apreciar la distribución espacial de las elevaciones del nivel estático, así como las zonas en las cuales se presentan los conos de abatimiento formados por el exceso de bombeo.

La elevación del nivel estático del año 1996 es considerada como la condición inicial en el modelo numérico del presente trabajo, mientras que del año 1997 al 2001 son los objetivos de calibración del modelo. A su vez, ayudan a identificar las zonas de recarga subterránea.

### 3.5.5 SISTEMA DE FLUJO

De manera general la dirección del flujo de agua subterránea es de este a oeste. En la figura 3.20 se presentan las direcciones de flujo para el año de 2001. El nivel freático tiene un comportamiento muy parecido a la topografía. Se tiene el nivel mayor en la parte este y va disminuyendo conforme se acerca a la costa.

Debido a que no existe evaporación de agua del nivel freático no existe flujo ascendente, pero si se presenta flujo descendente por la recarga proveniente de retornos de riego.



**Figura 3.20.** Sistema de flujo del acuífero de Caborca en el año de 2001.

# IV. MODELO CONCEPTUAL Y BALANCE DE AGUA

## **4.1 MODELO CONCEPTUAL**

Una vez caracterizada la zona de estudio, se puede llevar a cabo el modelo conceptual. Éste sirve para simplificar el problema de campo, organizar los datos de campo y facilitar la solución del problema. En el modelo conceptual del acuífero de Caborca se contempla la definición de las unidades hidroestratigráficas, la esquematización del balance de agua y la definición del sistema de flujo.

A partir de las consideraciones hidrogeológicas se considera que el acuífero se aloja en un medio poroso granular constituido por depósitos aluviales de edad Cuaternaria, los cuales funcionan regionalmente como un acuífero libre, constituido por la unidad hidroestratigráfica F. Lateralmente está limitado por fronteras impermeables compuestas por rocas ígneas y metamórficas consideradas como impermeables. En el subsuelo, el basamento o piso del acuífero, está compuesto por rocas impermeables, ver figura 3.9.

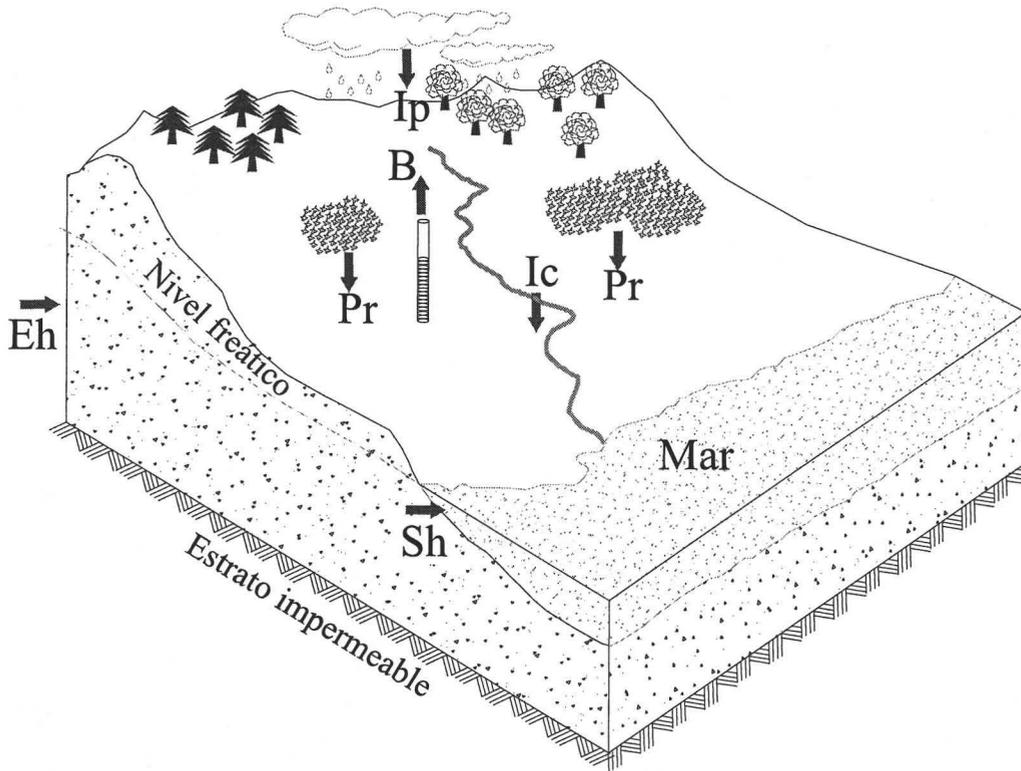
La empresa TMI (1975) menciona que en la zona de Coyote-Desemboque existe un estrato de arcilla azul de aproximadamente 230 m de espesor, por debajo de los materiales aluviales. Confinando parcialmente a una capa de materiales clásicos del mesozoico empacados en una arcilla de color rojo, los que forman un segundo acuífero o acuífero inferior de un espesor de 30 a 50 m. Sin embargo, en esta zona no existe evidencia de que se esté aprovechando dicho acuífero, así como tampoco se visualiza éste material en los perfiles analizados, de modo que para el presente trabajo se maneja una unidad hidroestratigráfica que es la F.

Las principales fuentes que recargan el acuífero son las provenientes por retornos de riego y por alimentación subterránea. Por lo que al reducir la extracción de agua o al llevar a cabo una tecnificación de los sistemas de riego disminuye la recarga vertical. La infiltración vertical por lluvia no es de gran importancia debido a que la precipitación en la zona es muy escasa. Otra fuente de recarga es la infiltración proveniente de las principales corrientes de la zona por medio del Río Asunción, Río Altar y Arroyo El Coyote, sobre todo en aquellas áreas donde el terreno está constituido por suelos arenosos gruesos; como ocurre en el Valle de Bísani y en la confluencia del arroyo El Coyote con el Río Asunción. De acuerdo con los registros de las estaciones hidrométricas estas corrientes son intermitentes. Sólo llevan agua en los meses más lluviosos. De acuerdo con los registros de las estaciones hidrométricas en los meses de julio y agosto se registra el 50% del escurrimiento anual.

Por otro lado, las principales fuentes de descarga son los aprovechamientos hidráulicos mediante pozos y en menor escala por el flujo subterráneo hacia el mar. No se presenta evapotranspiración del agua subterránea debido a que solo afecta a zonas donde la superficie

freática es menor a 10 m y en el acuífero de Caborca la profundidad mínima del nivel freático se presenta a los 12.5 m.

En la figura 4.1, se aprecia esquemáticamente el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero.



**Figura 4.1** *Esquematación del modelo conceptual*

De manera general la dirección del flujo de agua subterránea es de este a oeste. El nivel mayor del nivel freático se tiene en la parte este y va disminuyendo conforme se acerca a la costa. Debido a que no existe evaporación de agua del nivel freático no existe flujo ascendente, pero si se presenta flujo descendente por la recarga proveniente de retornos de riego.

## 4.2 BALANCE DE AGUA

Antes de pasar a la construcción del modelo, es necesario hacer un balance de agua para estimar a cuanto equivale cada una de las entradas y salidas de agua al modelo, mediante la aplicación de la ecuación de balance de agua.

El cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ) será igual a lo siguiente, de acuerdo con la ecuación 2.2

Flujo de entrada - Flujo de salida = Cambio en el almacenamiento en el tiempo

$$I_p + I_c + P_r + E_h - B - S_h = \Delta V$$

Donde:

$\Delta V = \Delta h * A =$  Cambio de almacenamiento, ( $L^3/T$ )

$\Delta h =$  abatimiento, ( $L/T$ )

$A =$  área del acuífero, ( $L^2$ )

$I_p =$  Infiltración por lluvia, ( $L^3/T$ )

$I_c =$  Infiltración por ríos, ( $L^3/T$ )

$P_r =$  Percolación por riegos, ( $L^3/T$ )

$E_h =$  Flujo de entrada subterráneo horizontal, ( $L^3/T$ )

$B =$  Bombeo, ( $L^3/T$ )

$S_h =$  Flujo de salida subterráneo horizontal, ( $L^3/T$ )

### 4.2.1 CAMBIO DE VOLUMEN DE AGUA EN EL ALMACENAMIENTO

Para la estimación del cambio de volumen en el almacenamiento fue necesario conocer el área de influencia y la capacidad de almacenamiento del acuífero, así como, el abatimiento promedio anual en el acuífero mediante la evolución del nivel freático de los pozos con sondeo.

Se calculó el cambio de almacenamiento, para ello el área del acuífero fue considerada igual a  $2253 \text{ km}^2$  y la capacidad de almacenamiento promedio de  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Los resultados se presentan en la tabla 4.1, una vez aplicada la ecuación de continuidad.

**Tabla 4.1** Valores del cambio de volumen de agua en el almacenamiento ( $\Delta V$ ).

Periodo	$\Delta h$ (m)	$\Delta V$ (Mm <sup>3</sup> )
1996-1997	-1.190	-303.873
1997-1998	-0.992	-253.366
1998-1999	-0.841	-214.739
1999-2000	-0.685	-174.941
2000-2001	-0.459	-117.084

Como se puede observar en la tabla anterior, se ha disminuido a más de la mitad el cambio de volumen de agua en el almacenamiento del acuífero, sin embargo aún se presentan abatimientos negativos.

#### 4.2.2 EVALUACIÓN DE LAS ENTRADAS Y SALIDAS DE AGUA AL ACUÍFERO

Como ya se mencionó en el modelo conceptual, en el acuífero sólo se presentan dos salidas de agua. La de mayor importancia es la extracción por pozos de bombeo y la otra es la salida de flujo horizontal al mar. La cuantificación del volumen de agua extraído se obtuvo de los registros de los pozos. El volumen de extracción de cada pozo se presenta en el anexo I, y la suma de todos ellos en la tabla 4.2.

Al hacer una estimación inicial de la descarga horizontal hacia el mar de acuerdo con los gradientes presentes en la zona de descarga, el área transversal y la conductividad hidráulica inicial se obtuvo un valor de recarga de 4.15 Mm<sup>3</sup>, la cual es dos veces más grande que la presentada en IMTA (2002), por lo que para el balance de agua se consideraron los valores estimados por el IMTA, presentados como salida horizontal en la tabla 4.2. Los valores finales se presentan más adelante en la sección de calibración del modelo.

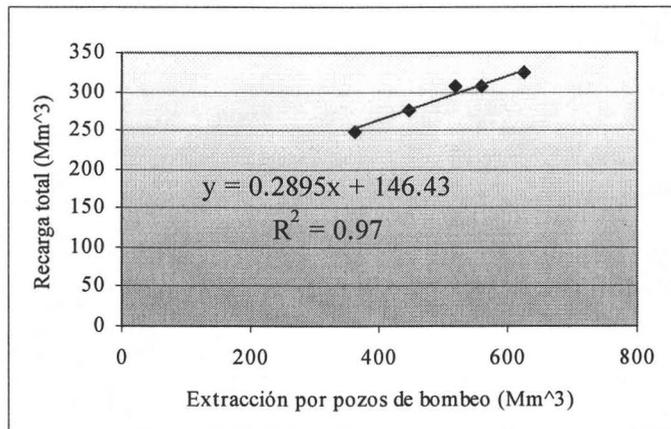
El volumen de entrada de agua al acuífero fue estimado mediante un balance entre el volumen de agua de extracción total y el volumen de cambio en el almacenamiento.

**Tabla 4.2** Volumen de recarga total al acuífero

Periodo	Salidas			$\Delta V$ (Mm <sup>3</sup> )	Recarga total (Mm <sup>3</sup> )
	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Total (Mm <sup>3</sup> )		
1996-1997	625.26	2.229	627.487	-303.873	323.61
1997-1998	558.33	1.473	559.799	-253.366	306.43
1998-1999	518.37	1.791	520.158	-214.739	305.42
1999-2000	448.20	2.238	450.443	-174.941	275.50
2000-2001	363.91	2.190	366.101	-117.084	249.02

Como se puede ver de la tabla anterior la recarga total está altamente influenciada por las extracciones de los pozos. Lo anterior se debe a que al haber menor bombeo existe menor abatimiento de los niveles freáticos y menor aportación por retornos de riego.

Una vez obtenida la recarga total al acuífero se realizó un ajuste lineal entre la extracción por bombeo y la recarga total, lo cual permite estimar la recarga natural al acuífero. Se considera como recarga natural a las entradas de agua que no tienen relación con retornos de riego, en este caso sería la recarga proveniente por entradas subterráneas horizontales, la infiltración por lluvia y la infiltración por ríos, o sea Recarga natural agrupadas en un solo componente ( $Eh + Ip + Ic$ ).



**Gráfica 4.1** Relación entre la recarga total y la extracción por pozos de bombeo.

De la línea obtenida por la regresión lineal se tiene que la recarga natural al acuífero es del orden de  $146 \text{ Mm}^3$ . La recarga aquí estimada difiere de las reportadas en estudios realizados anteriormente. IMTA(2002) estimó la recarga natural o sustentable en  $117.7 \text{ Mm}^3$ , Ariel Consultores S. A. (1997) en  $91 \text{ Mm}^3$ , mientras que TMI (1975) la estimó en  $30 \text{ Mm}^3$ , ya que consideró una recarga total de  $300 \text{ Mm}^3$ , pero de la cual  $270 \text{ Mm}^3$  provenientes de retornos de riego. Cabe destacar que la recarga por retorno de riegos al acuífero toma un papel muy importante. Sin embargo, es necesario que exista una aportación subterránea significativa, de no ser así existirían abatimientos mucho más grandes a los que ya se presentan.

Se ha estimado la recarga natural ( $Eh + Ip + Ic$ ) en  $146.4 \text{ Mm}^3$ . A continuación se hará el cálculo de cada una de los componentes que intervienen en ella.

De un balance de agua en México desarrollado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para el año 2002, (SEMARNAT, 2003), se presenta una estimación del porcentaje de precipitación que recarga los acuíferos. En el ámbito nacional el porcentaje de recarga es de 4.9 %, del cual el 56 % se presenta en las regiones hidrológicas XI (Frontera

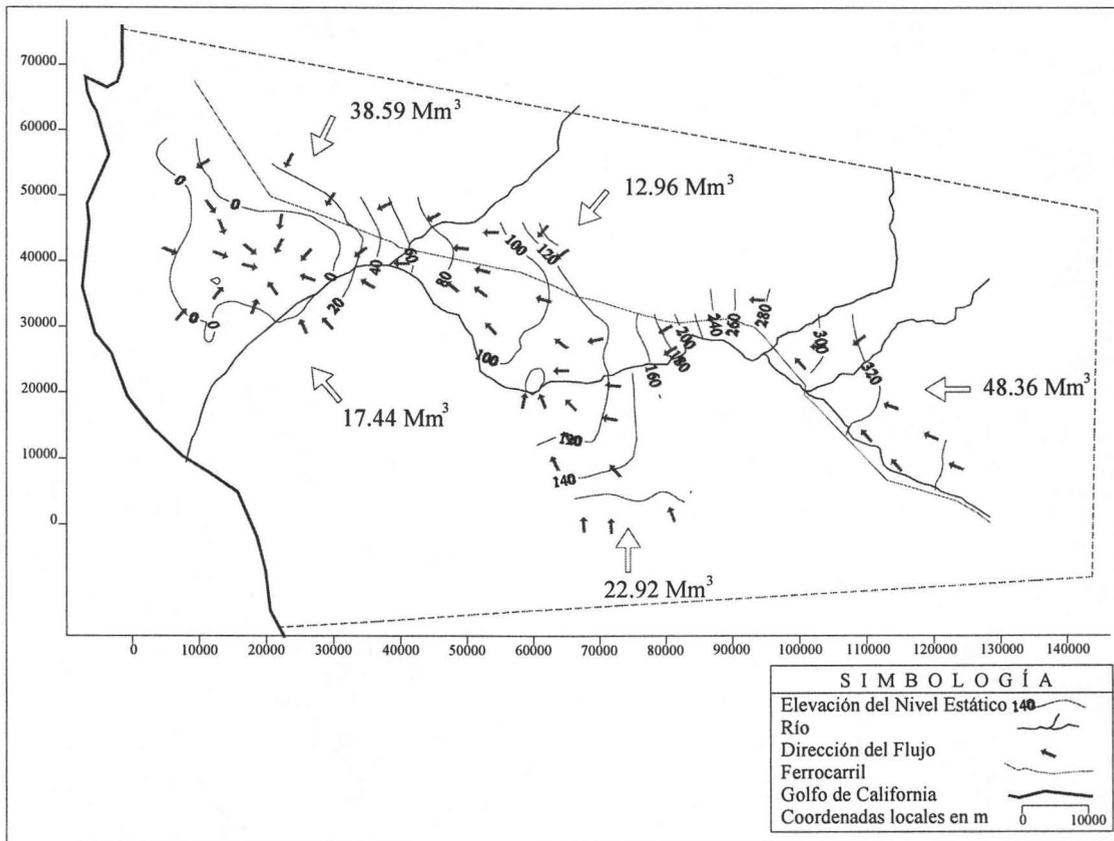
Sur) y XII (Península de Yucatán). Para el caso de la región hidrológica II (Noreste), donde se localiza la zona de estudio, de un volumen de 103 Km<sup>3</sup> de agua precipitada sólo se recargan 2.491 Km<sup>3</sup>, lo cual corresponde al 2.4 % de la precipitación. De esta manera se estimó la recarga por infiltración de lluvia en 11.192 Mm<sup>3</sup> (ver tabla 4.3).

**Tabla 4.3** *Recarga vertical al acuífero de acuerdo a la zona.*

Zona	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación (Mm <sup>3</sup> )	Ip+Ic (Mm <sup>3</sup> )
1	390	130.3	3.155
2	252	38.9	0.941
3	361	55.7	1.348
4	287	51.8	1.255
5	338	61.0	1.478
6	206	27.7	0.671
7	279	37.6	0.909
8	440	59.2	1.434
Total	2553	462.2	11.192

Otra componente de la recarga natural es la infiltración por ríos, la cual es de menor importancia dentro del balance de agua, debido a que de acuerdo con los registros de las estaciones hidrométricas los ríos presentes en la zona son intermitentes, ya que sólo llevan agua ocasionalmente durante las épocas de lluvia, principalmente en los meses de julio, agosto y septiembre. Por lo que se va a considerar como parte de la recarga por lluvia.

Considerando lo anterior, la recarga por flujo de entrada subterráneo horizontal (Eh) debe ser del orden de 135 Mm<sup>3</sup>, sin embargo, al hacer una estimación inicial de acuerdo con los gradientes presentes en las zonas de recarga, el área transversal de recarga y la conductividad hidráulica inicial se obtuvo una recarga de 140 Mm<sup>3</sup>, por lo que la estimación con mayor precisión se hará en el proceso de la calibración. La distribución inicial del flujo de entrada subterráneo horizontal se muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2** Distribución inicial del flujo de entrada subterráneo horizontal

Se calculó la recarga vertical al acuífero por retorno de riego empleando las eficiencias de riego globales reportadas en la tabla 3.16, para los periodos de 1996-1997 al 2000-2001 y se obtuvieron abatimientos menores a los esperados. Lo anterior indica que del total de agua que se pierde en las parcelas sólo una parte regresa al acuífero. Por lo que se va a considerar a la recarga natural igual al valor obtenido de la regresión lineal igual a  $146.4 \text{ Mm}^3$  y el cálculo de la recarga por retorno de riego se hará restando éste a la recarga total. El valor de percolación del riego es igual al porcentaje de agua de bombeo que retorna al acuífero. Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 4.4** Volumen de percolación por retorno de riego (Pr).

Periodo	Recarga total (Mm <sup>3</sup> )	Recarga natural (Mm <sup>3</sup> )	Pr (Mm <sup>3</sup> )	Percolación (%)
1996-1997	323.61	146.4	177.17	28.34
1997-1998	306.43	146.4	160.00	28.66
1998-1999	305.42	146.4	158.99	30.67
1999-2000	275.50	146.4	129.06	28.80
2000-2001	249.02	146.4	102.59	28.19

Para obtener la tabla anterior se asume que existe una relación directamente proporcional entre la percolación por retornos de riego y las extracciones por bombeo. Los retornos de riego se mantienen con muy poca variación, con un valor promedio de 28.93 %, la cual resulta ser menor a la considerada por Ariel Consultores del 40%.

A continuación se presenta el balance de agua considerando las entradas y salidas de agua calculadas.

**Tabla 4.5** Balance de agua inicial.

Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salidas horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Descarga total (Mm <sup>3</sup> )	Recarga vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Recarga total (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )
1996-1997	-625.258	-2.229	-627.487	188.37	140.29	328.66	-298.83
1997-1998	-558.326	-1.473	-559.799	171.19	140.29	311.48	-248.32
1998-1999	-518.367	-1.791	-520.158	170.18	140.29	310.47	-209.69
1999-2000	-448.314	-2.238	-450.443	140.26	140.29	280.55	-169.90
2000-2001	-363.911	-2.190	-366.101	113.78	140.29	254.07	-112.03

De acuerdo con el balance de agua inicial, presentado en la tabla anterior, el cambio de almacenamiento es menor estimado de los abatimientos del nivel freático en aproximadamente 5 Mm<sup>3</sup>, por lo que los valores finales se presentan en el tema calibración del modelo del siguiente capítulo.

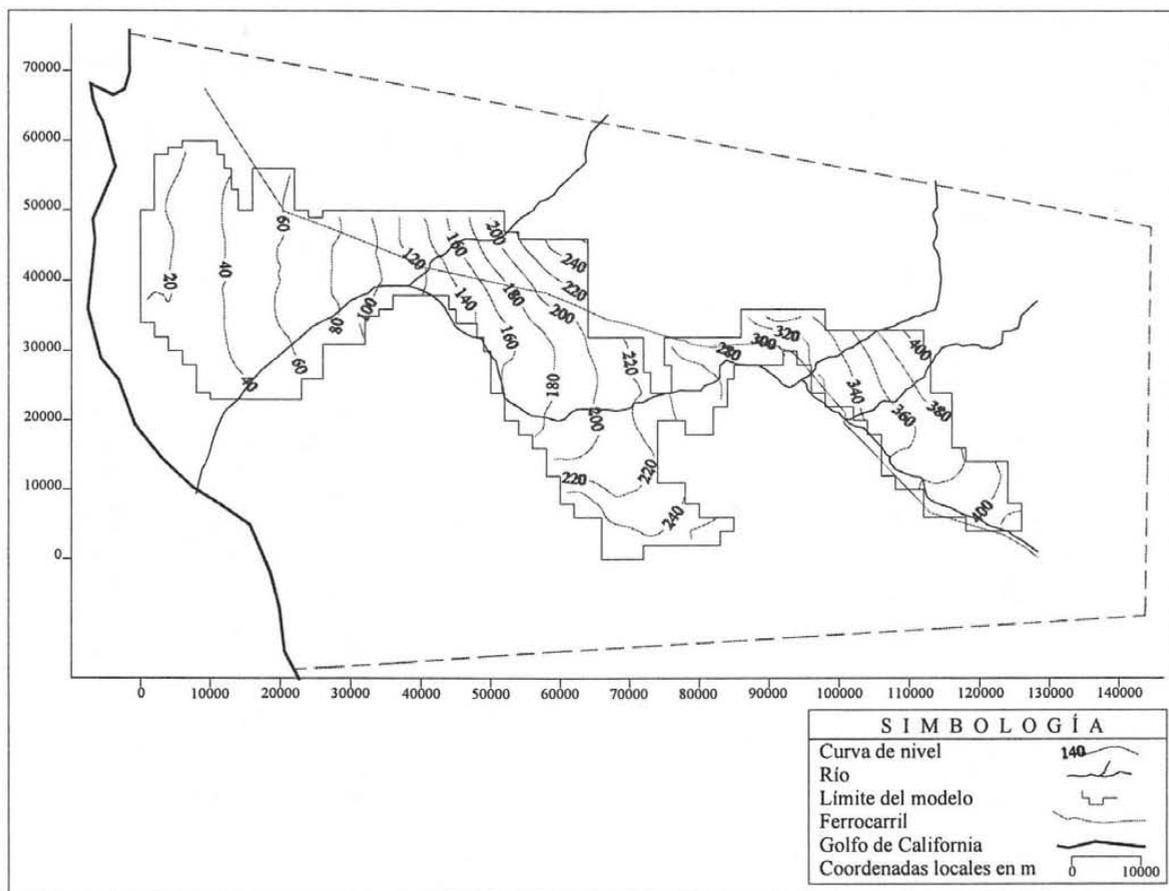
Una vez realizado el modelo conceptual y el balance de agua del acuífero se procede a construir el modelo de simulación del flujo subterráneo.

# V. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

## 5.1 SELECCIÓN DEL ÁREA A MODELAR

De acuerdo con TMI (1997) el acuífero cuenta con una superficie de 2526 km<sup>2</sup> distribuidos de la siguiente manera: 430 km<sup>2</sup> en la región de Pitiquito y Caborca, 706 km<sup>2</sup> en la región del valle de Bízani y 1390 km<sup>2</sup> en la región de Coyote y la costa. Ariel Consultores (1997) considera un área de 1850 km<sup>2</sup>. Hidrosistemas Universales S. A. de C. V. (1996) considera un área de 2553 km<sup>2</sup> al igual que IMTA (2002). En el presente trabajo se tomó este último valor con los límites del acuífero como se muestra en la figura 5.1.

Dentro de los límites considerados se encuentran las mejores características de almacenamiento subterráneo de la zona. Son valles de formaciones geológicas sedimentarias, en la cual se encuentran la mayoría de los aprovechamientos mediante pozos de bombeo. Aquellos pozos que quedan fuera de los límites del modelo forman parte de algún otro acuífero, ya que se encuentran rodeados por rocas metamórficas de poca o nula permeabilidad.



**Figura 5.1** Límites del acuífero de Caborca.

**Fuente:** IMTA (2002)

## **5.2 TIPO DE MODELO**

Existen diversas formas de clasificar los modelos para la simulación de flujo subterráneo. Un modelo puede ser en estado transitorio o permanente, confinado o libre, y se consideran en una, dos o tres dimensiones espaciales. En términos de las dimensiones espaciales éstos se clasifican como modelos de área en dos dimensiones, de perfil en dos dimensiones, cuasitridimensionales y tridimensionales. (Anderson y Woessner, 1992).

Para llevar a cabo la modelación del flujo subterráneo se seleccionó un modelo bidimensional, para un acuífero libre en estado transitorio. En simulaciones donde se involucra un acuífero libre, como en este caso, el nivel estático forma parte de la frontera. Para la realización de la modelación numérica se requiere especificar la variación espacial de la conductividad hidráulica, el rendimiento específico y la elevación del basamento.

## **5.3 CAPAS DEL MODELO**

Aunque los estudios geológicos reportan dos capas del acuífero, solamente una es la que define el comportamiento del mismo.

Como se mencionó en el modelo conceptual este acuífero contempla una capa o unidad hidroestratigráfica, la F. Se limita en la parte superior por el nivel freático y en la parte inferior por el nivel del basamento que está constituido de material impermeable. El espesor saturado promedio registrado para 1996 es de 172 m, el valor máximo de 310.2 m y el mínimo de 12.1 m. Para el 2001 el promedio bajó a 167.8 m, el máximo a 305.8 m y el mínimo a 6 m.

Al modelo numérico se introdujo el valor del nivel del basamento y de la superficie del terreno para cada uno de los cuatro extremos de los nodos. Los valores del basamento fueron obtenidos mediante una interpolación de la figura 3.10 y se introdujeron al modelo como un archivo tipo ASCII (x,y,z). No fue así en el caso de la elevación de la superficie del terreno, la cual se introdujo como un archivo de SURFER (.grd), generado a partir de los valores de la elevación del brocal registrados por Hidrosistemas Universales S. A. de C. V. (1996). La elevación del nivel freático se introduce como carga inicial

## **5.4 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL**

Para la discretización espacial del acuífero se generó una malla en diferencias finitas de 7560 celdas de 1000 m de ancho y de largo cada una, para ello se dividió el dominio del acuífero en 126 columnas y 60 filas. Del total de celdas 2553 son celdas activas, de las cuales

16 se emplearon como frontera de carga conocida por ser la salida al mar y 87 como frontera de flujo por ser las zonas de entrada de flujo subterráneo horizontal. La ubicación de estos dos tipos de presenta en la figura 5.4.

Debido a que la dirección del flujo es de este a oeste, la orientación de la malla está referenciada con los ejes norte-sur y este-oeste. El primero es para el eje “y” y el segundo para el eje “x”, de esta forma se reducen las celdas activas.

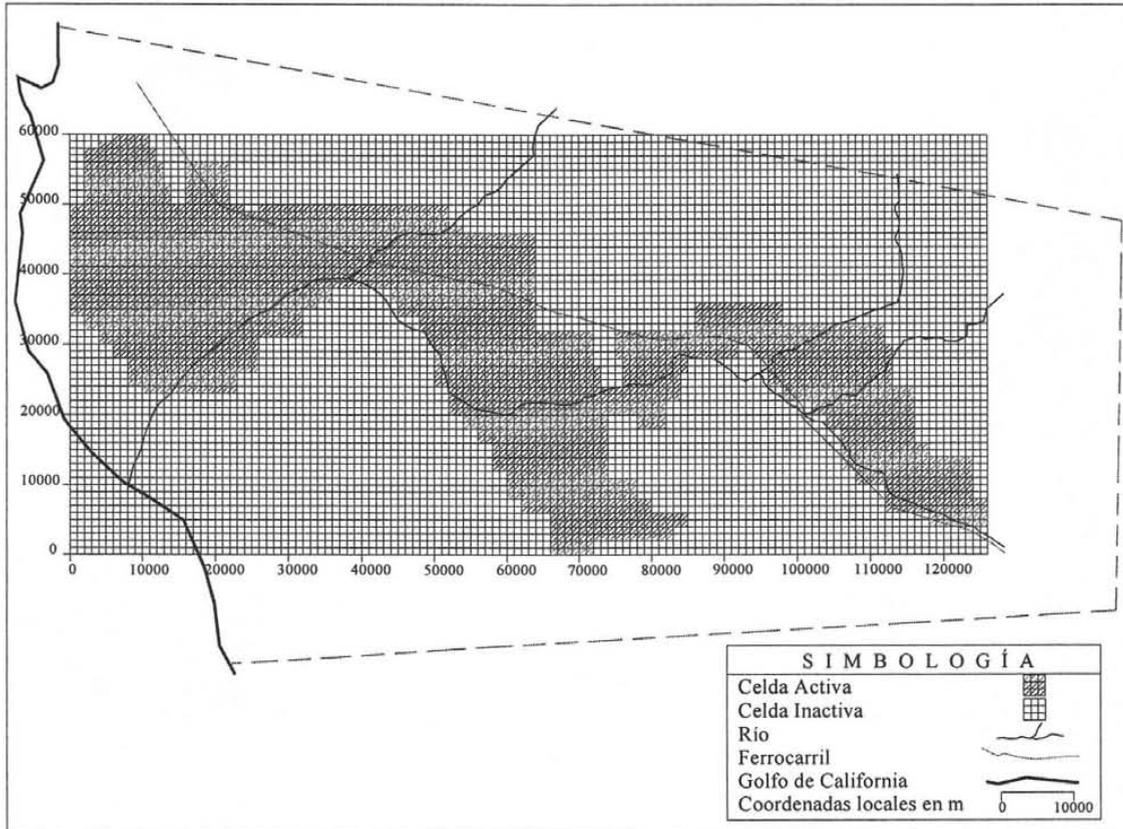


Figura 5.2 Discretización espacial del acuífero de Caborca.

### 5.5 DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

Para poder analizar el comportamiento de las cargas hidráulicas en el tiempo, fue necesario realizar una simulación en régimen transitorio. Para ello se analizaron cinco periodos de tiempo de 365 días con 10 pasos de tiempo por periodo. Los periodos comprendieron del 1 de enero de 1996 al 31 de diciembre de 2001. La discretización temporal es tomada en cuenta al momento de introducir las fuentes de recarga y descarga al acuífero. La condición inicial fue tomada de la configuración de la elevación del nivel estático para el año 1996.

Faust et al (1981), citados por Anderson. y Woessner (1992), recomiendan que la longitud del tiempo en una modelación predictiva no se debe extender hacia el futuro más de dos veces el periodo para el cual el modelo fue calibrado, debido a que la confiabilidad puesta en las predicciones del modelo dependen del resultado de la calibración. Por lo anterior, la simulación predictiva sólo se podrá extender hasta el 31 de diciembre de 2011.

## **5.6 PARÁMETROS DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

### **5.6.1 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**

Partiendo de la distribución de la conductividad hidráulica presentada en la figura 3.11, se seleccionaron valores de conductividades hidráulicas (K), dentro del rango de 1.65 m/día a 65 m/día, para cada una de las celdas activas del acuífero, buscando el mejor comportamiento del acuífero. La distribución final se presenta en la sección de la calibración.

### **5.6.2 ALMACENAMIENTO ESPECÍFICO, RENDIMIENTO ESPECÍFICO Y POROSIDAD**

Se sabe que para acuíferos libres el almacenamiento específico (Ss) es despreciable por lo que se usó un valor de 0.0001. En cuanto al rendimiento específico se aplicó un valor general de  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

El acuífero de Caborca está constituido por rocas sedimentarias de granulometría que varía entre arenas, gravas, limos y arcillas. De acuerdo con Custodio y Llamas (1976) la porosidad media en arenas es de 35%, en gravas 30%, en limos 40% y en arcillas del 45%. Davis y DeWiest (1971) consideran que la porosidad media en arenas es de 45%, en gravas 35%, en limos 50% y en arcillas 55%, de tal manera que se aplicó un valor de porosidad de 35% a todo el acuífero.

### **5.6.3 CONDICIÓN INICIAL**

Como condición inicial del acuífero se consideró la elevación del nivel piezométrico para el año de 1996, dicha información se obtuvo de la elevación de la superficie del terreno y de la profundidad del nivel estático de los pozos con registro. La mayor elevación se presenta en la parte este con un valor de 350.48 m.s.n.m. y la menor en la parte oeste de con un valor de -13.19 m.s.n.m.

La condición inicial se introdujo al acuífero como un archivo ASCII (x,y,z) para cada uno de los pozos con registro. El valor para cada una de las celdas lo genera el programa, sin embargo, debido a que dicha interpolación generó errores muy grandes fue necesario introducir puntos de interpolación adicionales. La interpolación generada se presenta en la figura 5.3.

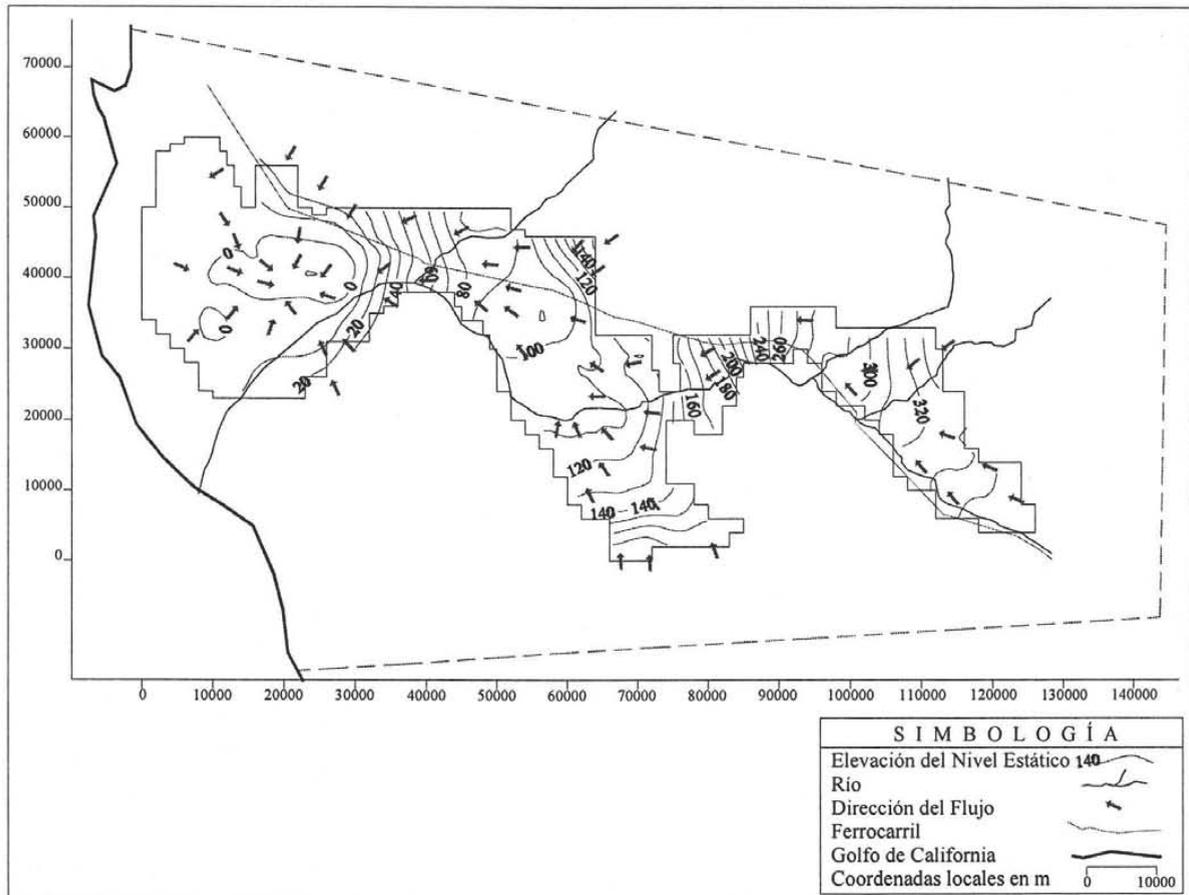


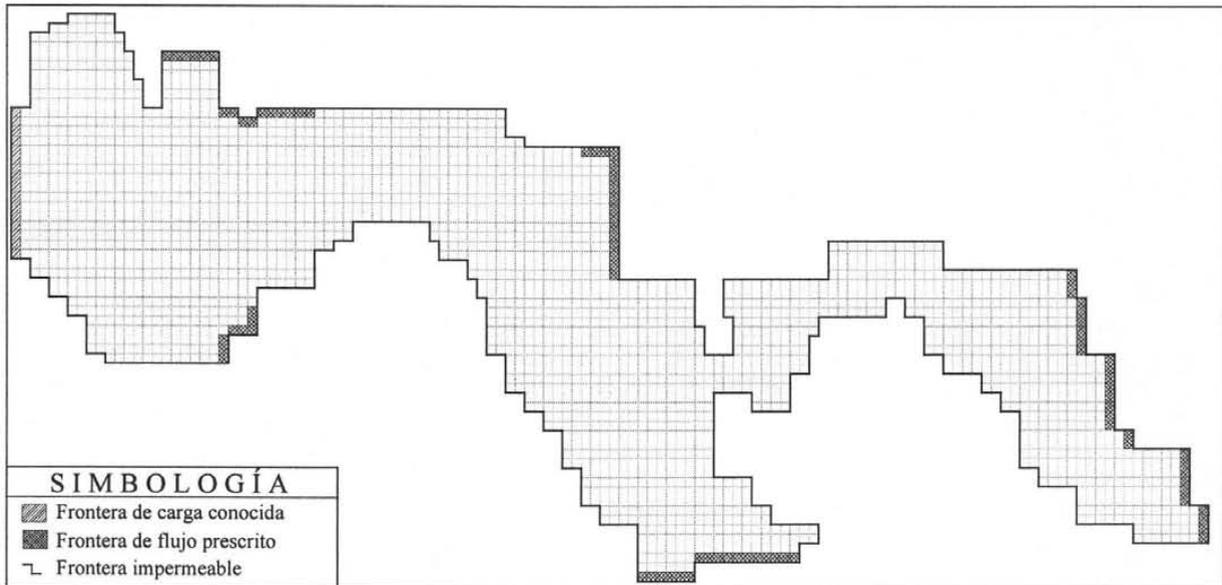
Figura 5.3 Condición inicial de cargas hidráulicas en m.

#### 5.6.4 CONDICIONES DE FRONTERA

En el acuífero se presentan dos tipos de condiciones de frontera, la de tipo Dirichlet y la de tipo Neumann. La primera condición de frontera se presenta en la parte oeste del acuífero por colindar con el Golfo de California. La segunda condición de frontera se presenta en aquellas zonas en las cuales las líneas de flujo entran perpendicularmente al acuífero, o bien, que las curvas de igual nivel piezométrico sean paralelas al límite del acuífero. Dichas características se puede apreciar en la figura 5.3. Sin embargo, existen zonas en las cuales a pesar de presentarse estas condiciones por la caracterización geológica se sabe que no

recargan al acuífero, de tal manera que se consideran como fronteras impermeables. La ubicación de cada una de las fronteras se presenta en la figura 5.4.

En la parte inferior el acuífero está limitado por el basamento como una frontera de no flujo y en la parte superior por el nivel freático, la cual es una frontera de flujo.



**Figura 5.4** Localización de las condiciones de frontera.

La distribución inicial del flujo de entrada subterráneo horizontal se muestra en el capítulo anterior en la figura 4.2. La distribución final se obtiene una vez calibrado el modelo.

### 5.6.5 RECARGA Y DESCARGA AL SISTEMA

En cuanto a la descarga por bombeo, debido a que el número de pozos era muy grande (734) resultó impracticable introducir uno a uno al programa MODFLOW. Se generó el archivo de entrada con el uso del programa de cómputo Visual Fortran Versión 6.1. Dicho archivo contempla el número del pozo, su localización en coordenadas locales (x,y), el volumen de extracción, el periodo de extracción y la ubicación del ademe ranurado.

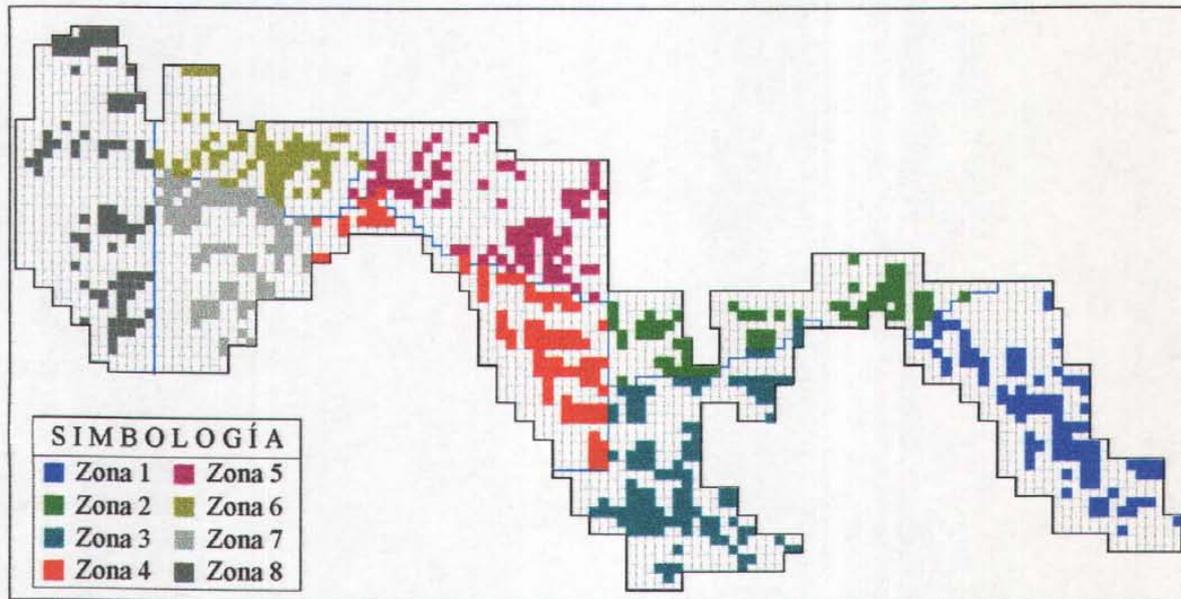
Los valores iniciales de la descarga hacia el mar son los presentados en IMTA(2002), presentados como salida horizontal en la tabla 4.2, y los finales se presentan en la sección de calibración del modelo.

La recarga vertical proveniente de retornos de riego se aplicó en los nodos con pozo y algunos en la periferia de éstos, por ser las zonas en las cuales se encuentran establecidos los cultivos (Figura 5.5). La distribución de la intensidad de recarga en cada una de las zonas fue

estimada de acuerdo con las eficiencias de riego globales de la tabla 3.16, estimadas por IMTA (2002). Los resultados se presentan en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1** Valores de percolación por riego para cada una de las zonas.

Zonas	Percolación por riego (Pr)				
	96-97	97-98	98-99	99-00	00-01
	(Mm <sup>3</sup> /año)	(Mm <sup>3</sup> /año)	(Mm <sup>3</sup> /año)	(Mm <sup>3</sup> /año)	(Mm <sup>3</sup> /año)
1	13.949	13.126	13.476	11.259	9.040
2	19.521	17.722	17.527	14.284	11.212
3	25.505	23.408	23.423	19.360	15.419
4	22.286	20.798	21.257	17.746	14.279
5	24.597	20.760	20.656	16.704	13.248
6	22.946	21.032	21.297	17.511	13.953
7	29.756	26.095	24.185	17.981	14.062
8	18.613	17.059	17.166	14.217	11.374
Total	177.175	160.000	158.988	129.063	102.587



**Figura 5.5** Distribución de las zonas con recarga vertical.

A los valores de Pr se les sumó la recarga por lluvia. Los resultados se dividieron entre la superficie de recarga seleccionadas por zona para obtener la intensidad de recarga por celda. Los valores obtenidos al final de dicho proceso, y que son los que introdujeron al modelo, se presentan en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Valores de la recarga vertical por zona, para cada celda de recarga.

Zona	Sup. modelo (Ha)	1996-1997 (m/día)	1997-1998 (m/día)	1998-1999 (m/día)	1999-2000 (m/día)	2000-2001 (m/día)
1	10600	0.0004421	0.0004208	0.0004298	0.0003725	0.0003152
2	7300	0.0007680	0.0007004	0.0006931	0.0005714	0.0004561
3	11700	0.0006288	0.0005797	0.0005801	0.0004849	0.0003926
4	9100	0.0007088	0.0006640	0.0006778	0.0005721	0.0004677
5	8600	0.0008307	0.0007084	0.0007051	0.0005792	0.0004691
6	6500	0.0009955	0.0009148	0.0009260	0.0007664	0.0006164
7	9300	0.0009034	0.0007955	0.0007393	0.0005565	0.0004410
8	9300	0.0005906	0.0005448	0.0005480	0.0004611	0.0003773
Total	72400					

Para la recarga subterránea horizontal se estimaron los gradientes hidráulicos y el área transversal para cada una de las zonas de recarga y se hizo una estimación inicial de acuerdo con la conductividad hidráulica inicial. Los gradientes obtenidos van de 0.0013 a 0.0077. El programa de modelación requiere el valor del tiempo de inicio, el tiempo final y la carga general para cada uno de los periodos, así como el valor de la conductancia. Con los valores iniciales de recarga subterránea horizontal se determinan los valores de la conductancia de cada una de las celdas de recarga, de tal manera que los valores de recarga estimados sean casi iguales a los obtenidos con el modelo.

## 5.7 CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo tiene como objetivo reproducir los valores de las cargas hidráulicas y los flujos medidos en campo. Lo anterior se alcanza al encontrar el conjunto de parámetros, condiciones de frontera y esfuerzos que producen las cargas simuladas y flujos, acordes con los medidos en campo dentro de un límite de error preestablecido, en las cargas y en el balance.

El error máximo asumido debe ser menor al 5% del rango de variación de las cargas. La diferencia entre la carga mayor y la menor, en el acuífero, es de más de 360 m, por lo que el error máximo debe ser menor a 18 m.

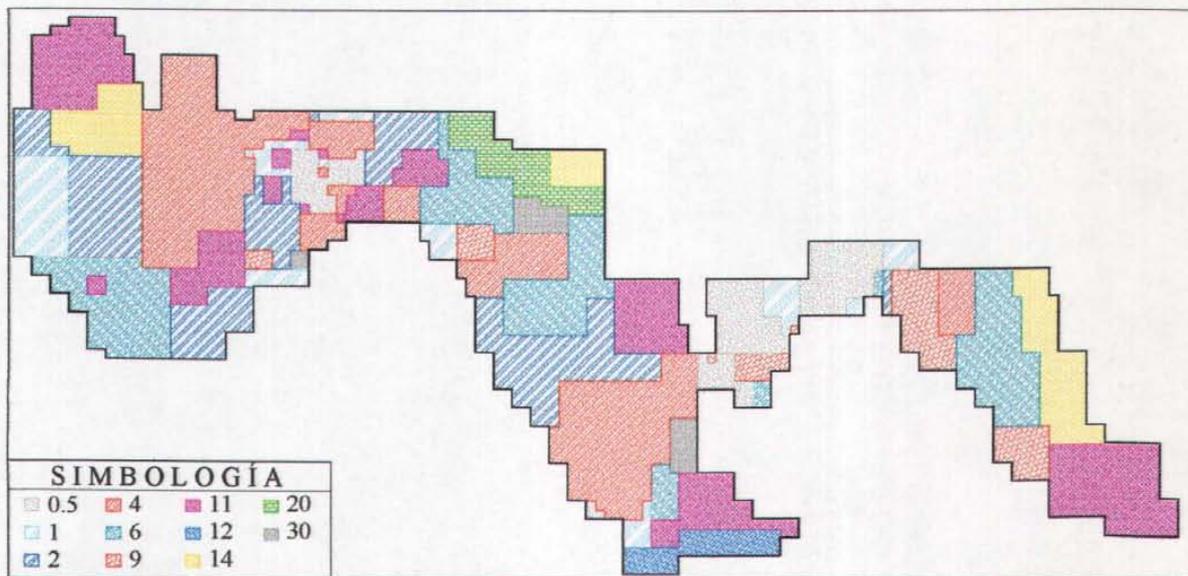
El modelo se calibró en estado transitorio. Los pozos de bombeo que contaban con información de cargas piezométrica se introdujeron al modelo como pozos de observación, de tal manera que estos niveles fueron el objetivo de calibración.

Una vez que se introdujeron al modelo las variables conocidas, quedó por definir la distribución de las conductividades, así como la cantidad de recarga horizontal por cada una

de las zonas seleccionadas para dicha recarga ya que los valores iniciales cambian al cambiar las conductividades.

### 5.7.1 CALIBRACIÓN DE LAS CARGAS HIDRÁULICAS

El proceso de calibración de las cargas hidráulicas, consistió en encontrar la distribución de conductividades hidráulicas que diera como resultado el menor error entre las cargas medidas y las calculadas por el modelo. El primer paso fue asignar la distribución inicial de la conductividad hidráulica al acuífero, correr el modelo, ver los errores y el comportamiento general de las cargas. Un segundo paso fue correr el modelo con un incremento en la conductividad hidráulica, para ver la respuesta ante este cambio. Una vez realizado esto se corrió el modelo con una disminución en la conductividad hidráulica. Posteriormente, se llevó a cabo una asignación de conductividades por zonas hasta encontrar el mejor comportamiento de las cargas. La distribución final de las conductividades hidráulicas se muestra en la figura 5.6.



**Figura 5.6** Distribución de la conductividad hidráulica en el acuífero de Caborca.

El programa de modelación calcula tres parámetros que miden la diferencia entre las cargas medidas (observadas) y las simuladas (calculadas):

- El error medio (ME), que es la diferencia promedio entre las cargas simuladas ( $h_s$ ) y medidas ( $h_m$ ), para un número determinado de pozos.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (hs - hm)_i$$

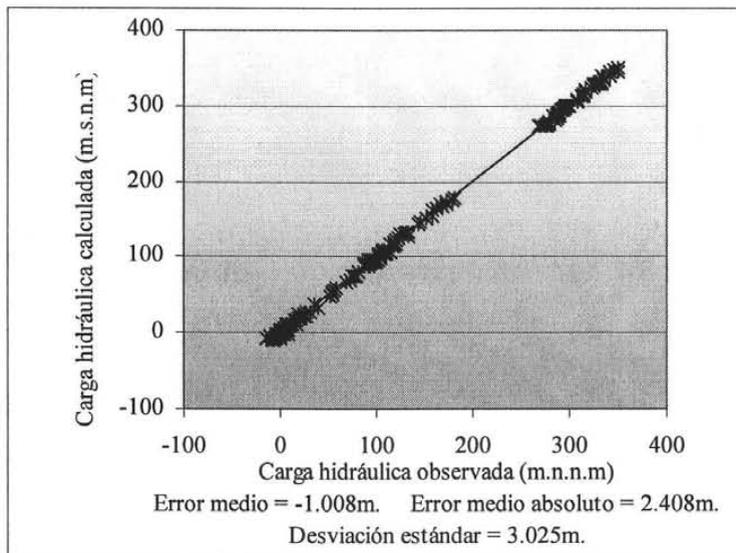
- El error medio absoluto (EMA), que es el promedio del valor absoluto de las diferencias entre las cargas medidas y las simuladas.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(hm - hs)_i|$$

- La raíz cuadrada de las medias del error o desviación estándar (RMS), que es el promedio del cuadrado de las diferencias de las cargas medidas y las simuladas.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (hm - hs)_i^2}$$

A continuación se presenta una gráfica de comparación entre las cargas hidráulicas observadas en campo y las calculadas con el modelo y una figura de la distribución de las cargas, para cada uno de los periodos analizados.



**Gráfica 5.1** Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1997.

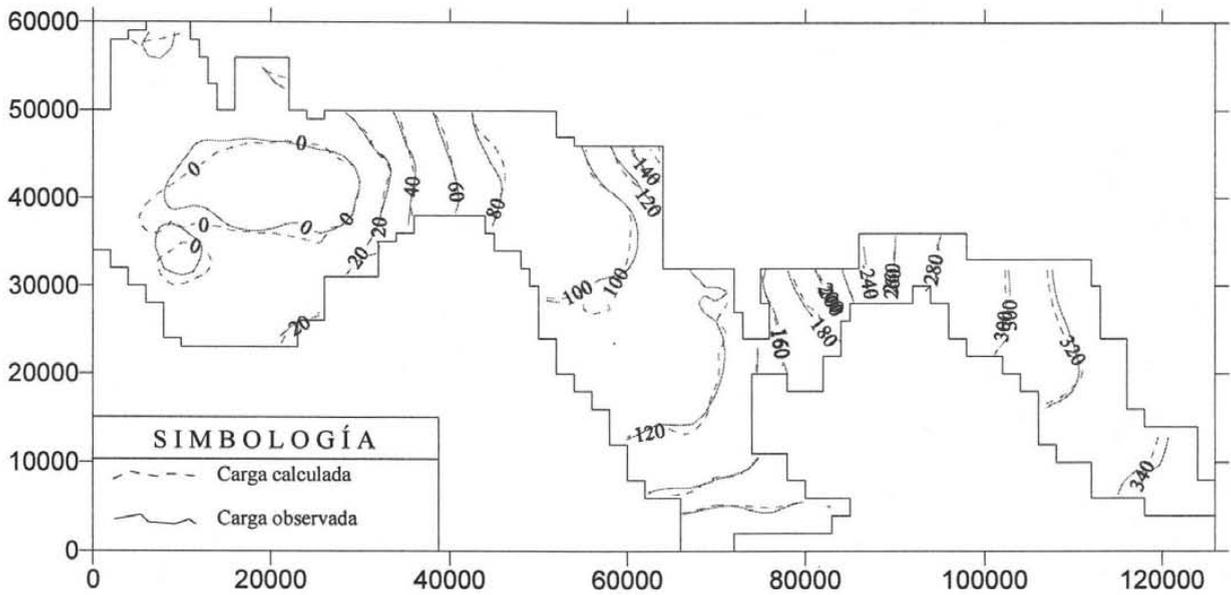
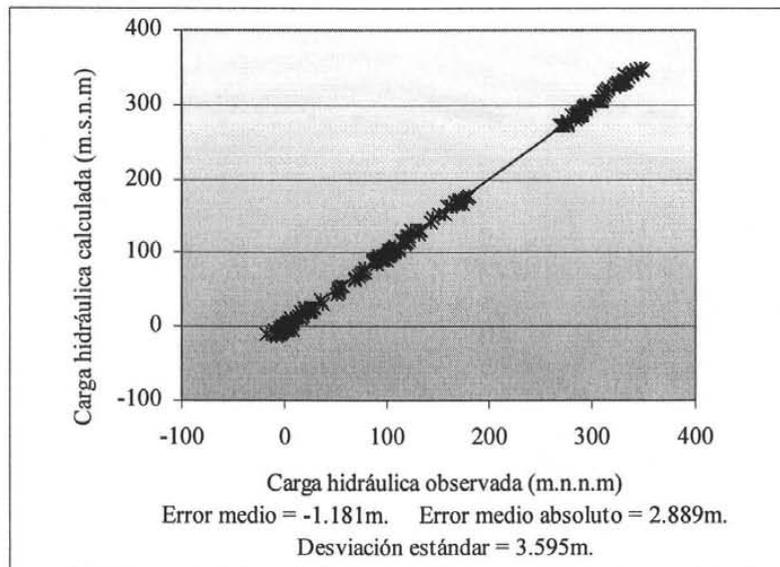


Figura 5.7 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1997 en m.s.n.m.



Gráfica 5.2 Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1998.

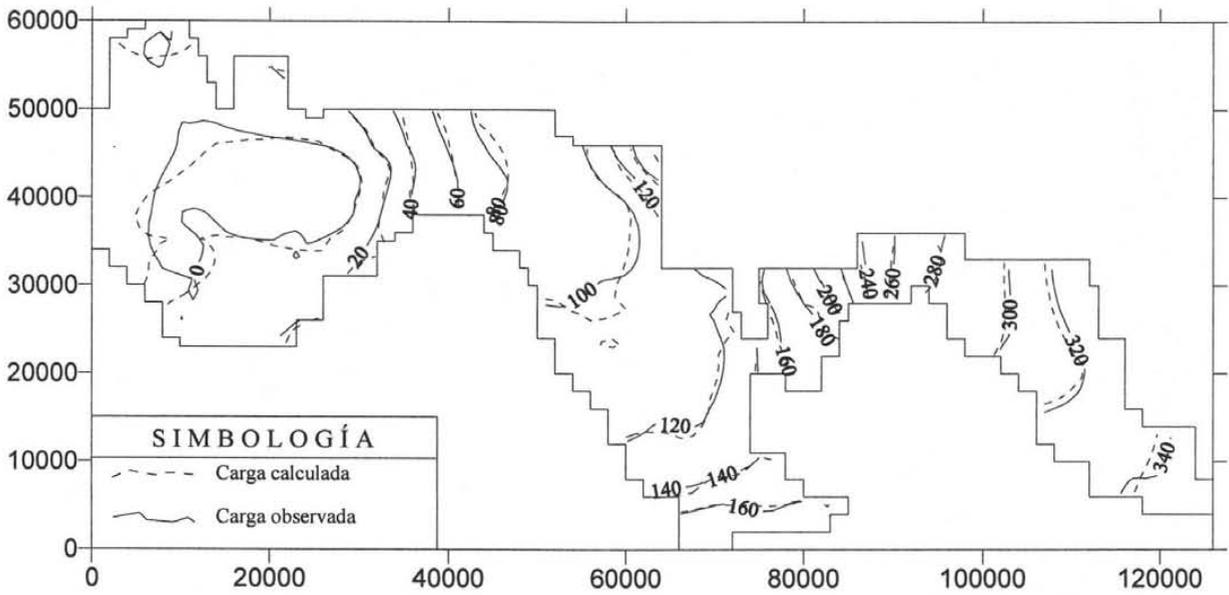
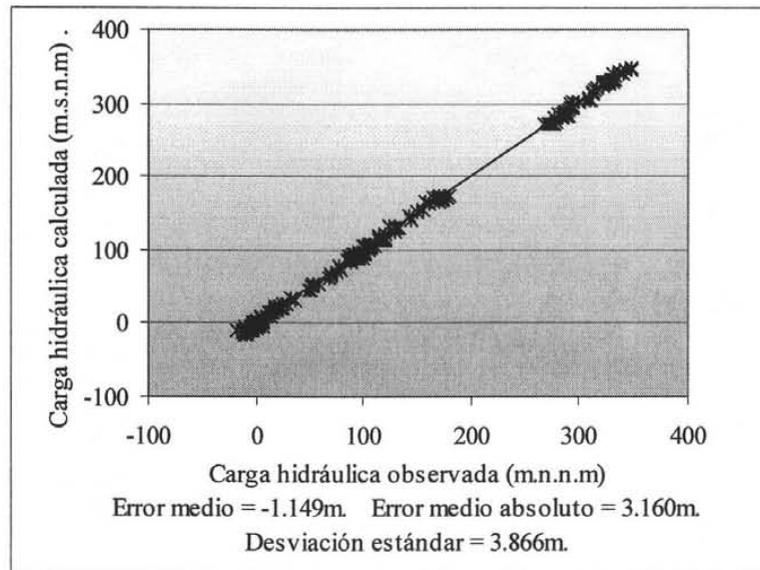


Figura 5.8 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1998 en m.s.n.m.



Gráfica 5.3 Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año de 1999.

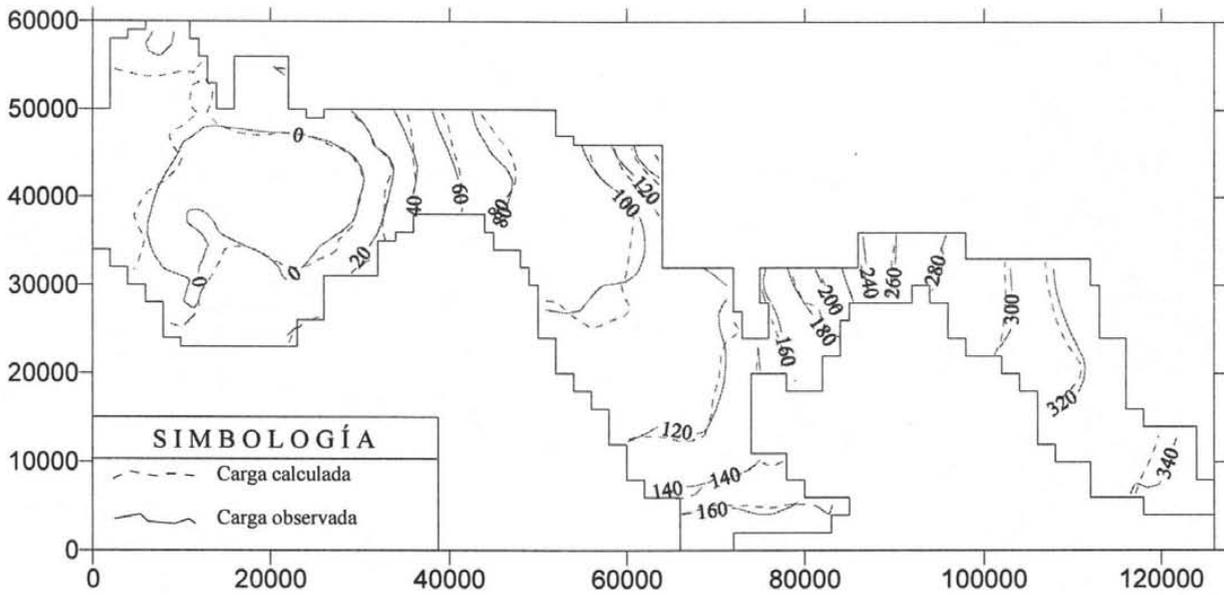
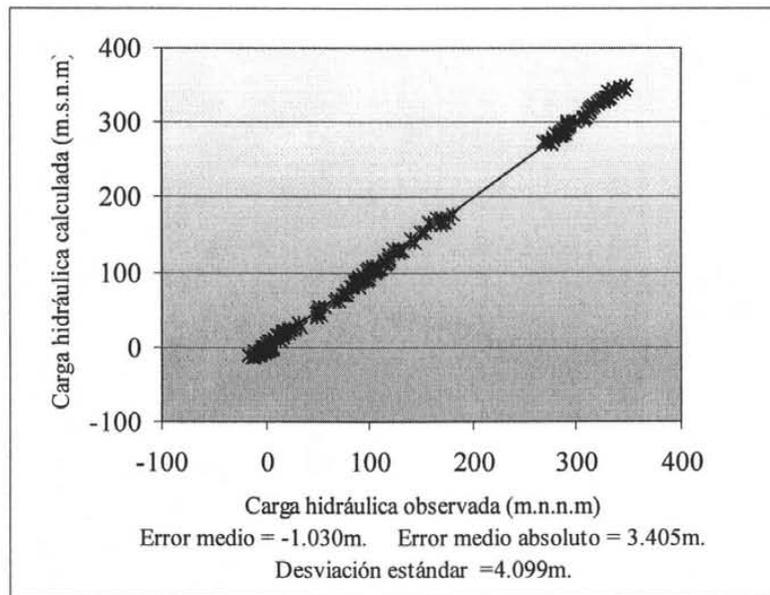


Figura 5.9 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año de 1999 en m.s.n.m.



Gráfica 5.4 Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año 2000.

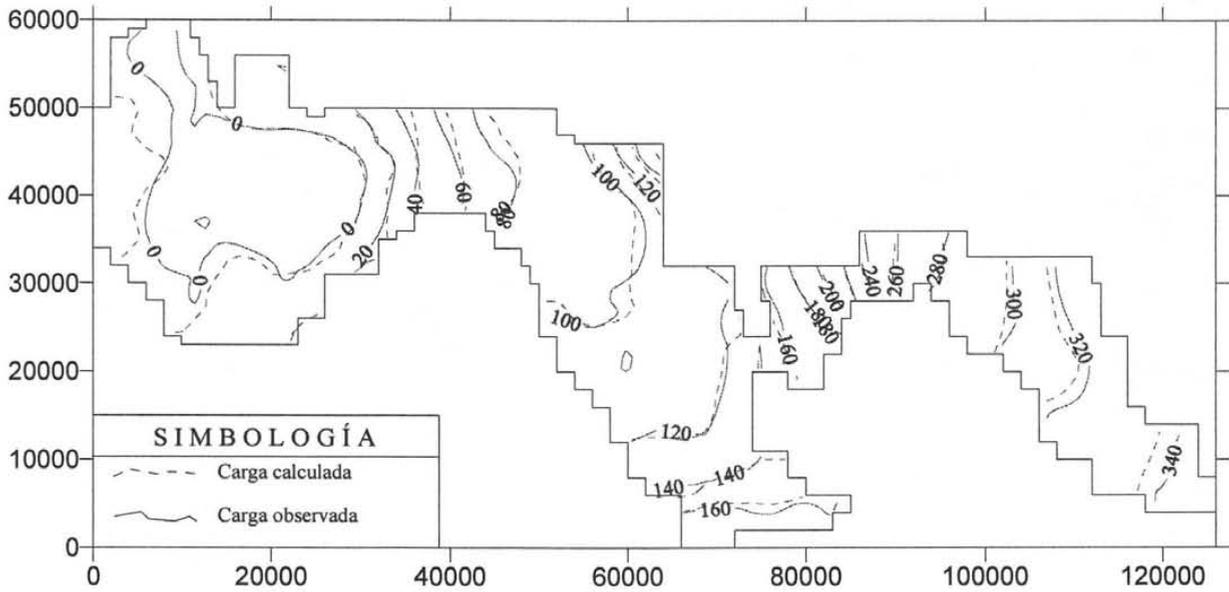
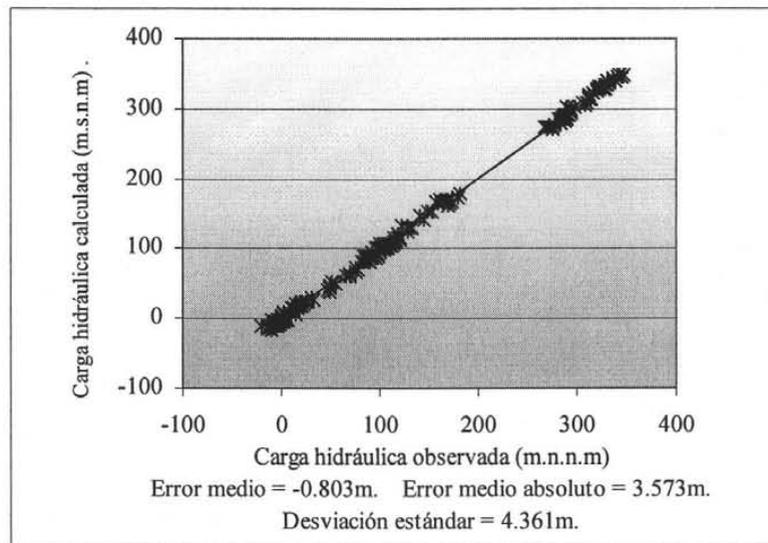
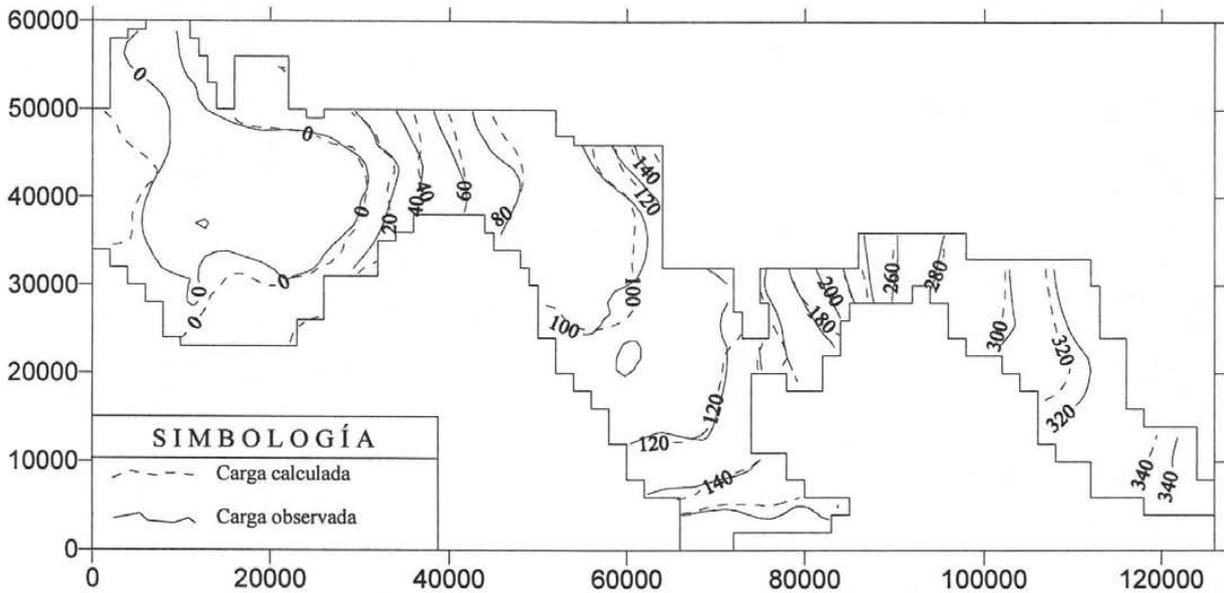


Figura 5.10 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2000 en m.s.n.m.



Gráfica 5.5 Cargas hidráulicas observadas contra cargas hidráulicas calculadas correspondientes al año 2001.



**Figura 5.11** Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2001 en m.s.n.m.

La siguiente tabla presenta los valores del error medio, error medio absoluto y desviación estándar entre las cargas calculadas y observadas por año.

**Tabla 5.3** Valores del error medio, error medio absoluto y desviación estándar de las cargas calculadas y observadas por año.

Año	ME (m)	EMA (m)	RMS (m)
1997	-1.008	2.408	3.025
1998	-1.181	2.889	3.595
1999	-1.149	3.160	3.866
2000	-1.030	3.405	4.099
2001	-0.803	3.573	4.361

Como se puede ver en la tabla anterior el error medio tiene signo negativo. Indica que el promedio de las cargas hidráulicas medidas es mayor a las calculadas, con un orden de variación de  $-0.803$  m. a  $-1.149$  m. El error medio absoluto va de 2.408 m. para el año 1997 a 3.573 m para el año 2001. Mientras que la desviación estándar es un poco mayor, de 3.025 m para el año 1997 hasta 4.361 m para el año 2001. Cada uno de los parámetros es menor que el error permisible de 18 m, por lo que la calibración se considera como aceptable.

La distribución de las cargas para el año 1997 es muy buena, ya que existe una buena concordancia entre las curvas de igual elevación del nivel estático medido con el calculado. A

medida que pasa el tiempo de simulación las curvas se van separando, hasta llegar al año 2001 en el cual se puede ver la mayor diferencia entre las cargas medidas y las simuladas, sin embargo de acuerdo con los tres parámetros de error la calibración es aceptable.

### 5.7.2 CALIBRACIÓN DEL BALANCE DE AGUA

De manera simultánea, durante el proceso de calibración de las cargas, se realizó la calibración del balance de agua. La descarga por bombeo se asignó al inicio de la modelación de acuerdo con los gastos de extracción de cada uno de los pozos. Se buscaron conductividades en la parte cercana a la frontera de carga constante que dieran una descarga del orden de  $2\text{Mm}^3$ , lo cual se logró para el primer periodo de 1996-1997, ya que para los siguientes se notó una notable disminución, ver tabla 5.4.

Para disminuir los errores obtenidos entre las cargas medicadas con las calculadas se realizó una reasignación de conductividades hidráulicas, lo cual modificó el flujo de agua subterráneo horizontal calculado inicialmente. Los valores obtenidos por periodo se presentan en la tabla 5.4 y una distribución final aproximada se presenta en la figura 5.12.

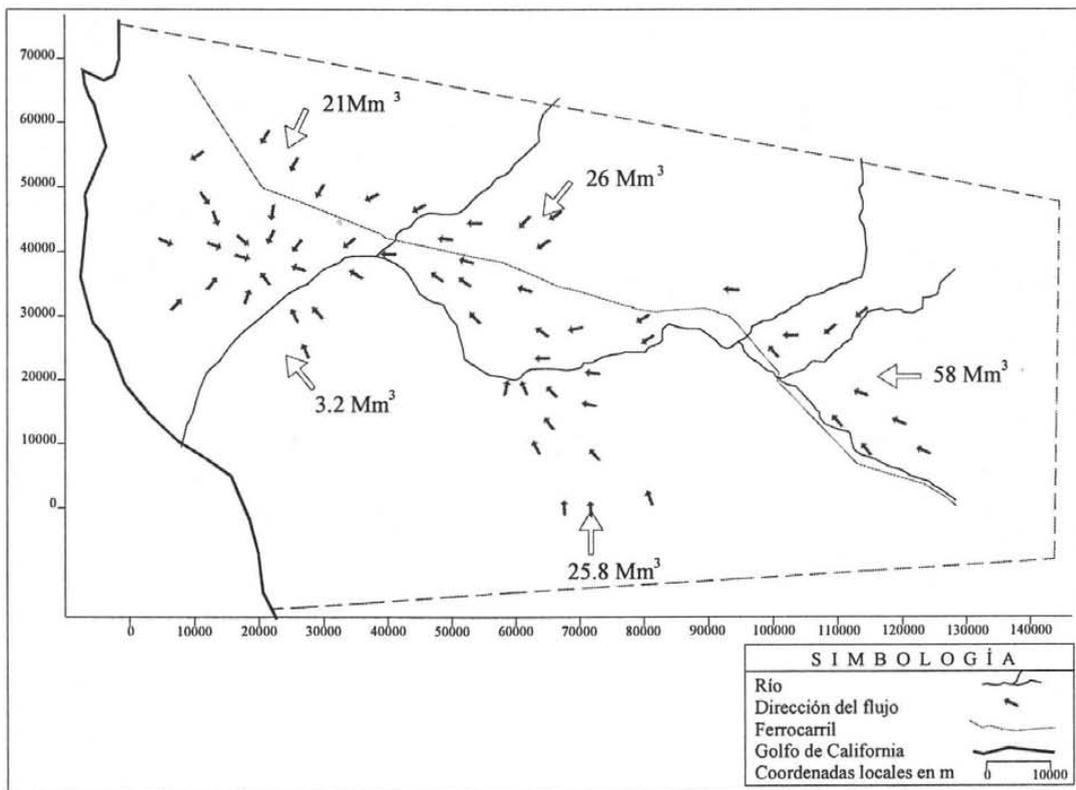


Figura 5.12 Distribución final del flujo de entrada subterráneo horizontal

Fue necesario incrementar la recarga vertical debido a que para los dos primeros periodos la recarga horizontal resultó ser menor a la esperada. Se probó incrementando la recarga horizontal pero al hacerlo aumentan los errores. A continuación se presenta el balance de agua detallado por paso de tiempo obtenido por el modelo, para los cinco periodos de tiempo.

**5.7.2.1 Balance de agua calculado por el modelo**

**a) Periodo 1996-1997**

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 10 IN STRESS PERIOD 1

CUMULATIVE VOLUMES		L**3	RATES FOR THIS TIME STEP		L**3/T
IN:			IN:		
---			---		
STORAGE =	364727168.0000		STORAGE =	836245.6875	
CONSTANT HEAD =	0.0000		CONSTANT HEAD =	0.0000	
WELLS =	0.0000		WELLS =	0.0000	
HEAD DEP BOUNDS =	127493928.0000		HEAD DEP BOUNDS =	368888.4062	
RECHARGE =	196147104.0000		RECHARGE =	537389.3125	
TOTAL IN =	688368192.0000		TOTAL IN =	1742523.5000	
OUT:			OUT:		
---			---		
STORAGE =	60824832.0000		STORAGE =	23827.9902	
CONSTANT HEAD =	2285379.2500		CONSTANT HEAD =	5662.2490	
WELLS =	625257920.0000		WELLS =	1713035.3750	
HEAD DEP BOUNDS =	0.0000		HEAD DEP BOUNDS =	0.0000	
RECHARGE =	0.0000		RECHARGE =	0.0000	
TOTAL OUT =	688368128.0000		TOTAL OUT =	1742525.6250	
IN - OUT =	64.0000		IN - OUT =	-2.1250	
PERCENT DISCREPANCY =	0.00		PERCENT DISCREPANCY =	0.000	

b) Periodo 1997-1998

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 10 IN STRESS PERIOD 2

CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
---		---	
STORAGE =	624710848.0000	STORAGE =	697869.8125
CONSTANT HEAD =	0.0000	CONSTANT HEAD =	0.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
HEAD DEP BOUNDS =	261784464.0000	HEAD DEP BOUNDS =	374562.0000
RECHARGE =	369110624.0000	RECHARGE =	472578.0000
TOTAL IN =	1255605888.0000	TOTAL IN =	1545009.7500
OUT:		OUT:	
----		----	
STORAGE =	66419300.0000	STORAGE =	11032.2090
CONSTANT HEAD =	4073717.7500	CONSTANT HEAD =	4312.9761
WELLS =	1185113088.0000	WELLS =	1529659.1250
HEAD DEP BOUNDS =	0.0000	HEAD DEP BOUNDS =	0.0000
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	1255606144.0000	TOTAL OUT =	1545004.2500
IN - OUT =	-256.0000	IN - OUT =	5.5000
PERCENT DISCREPANCY =	0.00	PERCENT DISCREPANCY =	0.00

c) Periodo 1998-1999

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 10 IN STRESS PERIOD 3

CUMULATIVE VOLUMES		L**3	RATES FOR THIS TIME STEP		L**3/T
IN:			IN:		
---			---		
STORAGE =	859248192.0000		STORAGE =	610885.5000	
CONSTANT HEAD =	0.0000		CONSTANT HEAD =	0.0000	
WELLS =	0.0000		WELLS =	0.0000	
HEAD DEP BOUNDS =	396828064.0000		HEAD DEP BOUNDS =	374963.5000	
RECHARGE =	538627648.0000		RECHARGE =	465706.0938	
TOTAL IN =	1794703872.0000		TOTAL IN =	1451555.1250	
OUT:			OUT:		
----			----		
STORAGE =	87208712.0000		STORAGE =	28028.0781	
CONSTANT HEAD =	5434498.0000		CONSTANT HEAD =	3341.1345	
WELLS =	1702060032.0000		WELLS =	1420183.7500	
HEAD DEP BOUNDS =	0.0000		HEAD DEP BOUNDS =	0.0000	
RECHARGE =	0.0000		RECHARGE =	0.0000	
TOTAL OUT =	1794703232.0000		TOTAL OUT =	1451553.0000	
IN - OUT =	640.0000		IN - OUT =	2.1250	
PERCENT DISCREPANCY =	0.00		PERCENT DISCREPANCY =	0.00	

d) Periodo 1999-2000

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 10 IN STRESS PERIOD 4

CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
---		---	
STORAGE =	1059775616.0000	STORAGE =	517742.3750
CONSTANT HEAD =	0.0000	CONSTANT HEAD =	0.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
HEAD DEP BOUNDS =	532076928.0000	HEAD DEP BOUNDS =	376174.5000
RECHARGE =	678712576.0000	RECHARGE =	383794.5000
TOTAL IN =	2270565120.0000	TOTAL IN =	1277711.3750
OUT:		OUT:	
----		----	
STORAGE =	113811840.0000	STORAGE =	47203.3164
CONSTANT HEAD =	6487634.0000	CONSTANT HEAD =	2552.8477
WELLS =	2150264576.0000	WELLS =	1227957.8750
HEAD DEP BOUNDS =	0.0000	HEAD DEP BOUNDS =	0.0000
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	2270564096.0000	TOTAL OUT =	1277714.0000
IN - OUT =	1024.0000	IN - OUT =	-2.6250
PERCENT DISCREPANCY =	0.00	PERCENT DISCREPANCY =	0.00

e) Periodo 2000-2001

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 10 IN STRESS PERIOD 5

CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
STORAGE =	1214692608.0000	STORAGE =	403905.7500
CONSTANT HEAD =	0.0000	CONSTANT HEAD =	0.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
HEAD DEP BOUNDS =	666553472.0000	HEAD DEP BOUNDS =	363471.9375
RECHARGE =	792349696.0000	RECHARGE =	311334.5938
TOTAL IN =	2673595904.0000	TOTAL IN =	1078712.2500
OUT:		OUT:	
STORAGE =	152138512.0000	STORAGE =	79796.7734
CONSTANT HEAD =	7280405.0000	CONSTANT HEAD =	1897.5702
WELLS =	2514175488.0000	WELLS =	997017.9375
HEAD DEP BOUNDS =	0.0000	HEAD DEP BOUNDS =	0.0000
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	2673594368.0000	TOTAL OUT =	1078712.2500
IN - OUT =	1536.0000	IN - OUT =	0.0000
PERCENT DISCREPANCY =	0.00	PERCENT DISCREPANCY =	0.00

A continuación se presenta un resumen del balance de agua obtenido para cada uno de los periodos modelados, de acuerdo con los resultados obtenidos por el modelo y presentados anteriormente.

Tabla 5.4 Balance de agua calculado con el modelo.

Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salidas horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Descarga total (Mm <sup>3</sup> )	Recarga vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Recarga total (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )
1996-1997	-625.258	-2.285	-627.543	196.147	127.493	323.640	-303.903
1997-1998	-558.326	-1.788	-560.114	172.964	134.291	307.255	-252.860
1998-1999	-518.367	-1.361	-519.728	169.517	135.044	304.561	-215.167
1999-2000	-448.314	-1.053	-449.367	140.085	135.248	275.333	-174.034
2000-2001	-363.911	-0.760	-364.671	113.637	134.477	248.114	-116.557

El balance de agua calculado con el modelo se ajusta muy bien a los cambios de almacenamientos calculados con los abatimientos observados de la carga piezométrica, presentados en la tabla 4.1, con una diferencia de  $\pm 0.48 \text{ Mm}^3$ , por lo que se considera que el modelo reproduce el comportamiento del acuífero.

# VI. ESCENARIOS DE MANEJO DEL ACUÍFERO

## 6.1 INTRODUCCIÓN

A pesar de que las extracciones han disminuido en los últimos años, los niveles del nivel freático ha continuado abatiéndose a excepción de la zona 1. La tabla 6.1 presenta el tiempo en que se agotaría el acuífero si se continúa con los niveles actuales de bombeo, asumiendo las condiciones de manejo del 2001. Se observa que dependiendo de la zona el tiempo promedio de agotamiento del acuífero varía de 136 a 797 años. Siendo las zonas 4 y 5 las que presentan un periodo de vida más corto y con un valor de la profundidad del nivel freático mayor al promedio del acuífero. La variabilidad espacial en las propiedades y extracciones del acuífero generan abatimientos locales. Para el año 2001, existen registros de pozos con una profundidad del nivel freático de hasta 122.44 m cuando el promedio general es de 66 m. lo anterior indica la presencia de un uso intensivo del acuífero con altos gradientes hidráulicos. La profundidad de bombeo trae como consecuencia el aumento del consumo de energía, el cual se ve reflejado en menores ingresos al productor al aumentar los costos de producción.

**Tabla 6.1** *Tiempo de vida del acuífero y profundidad del nivel estático promedio por zonas.*

Zona	Espesor (m)	Abatimiento (m)	Tiempo (años)	P.N.E. 2001 (m)
1	208.62	-0.003		33.9
2	116.44	0.558	208.60	69.8
3	159.89	0.240	666.21	70.8
4	127.39	0.936	136.16	92.2
5	125.49	0.871	144.02	77.3
6	233.56	0.797	293.16	59.8
7	229.70	0.691	332.54	90.8
8	161.87	0.204	794.08	47.1
Total o promedio	169.19	0.459	368.92	66.13

Para conocer el incremento de los costos de energía se realizó una estimación correspondiente a diferentes profundidades del nivel dinámico. Los requerimientos energéticos, potencia ( $P_t$ ), de un sistema de bombeo puede estimarse con la siguiente ecuación, (Ojeda y Herrera, 2000):

$$P_t = k \frac{AL_b P}{E_{e-m}}$$

Donde:

$P_t$  = potencia en kWh, (kilowatt/hr).

k = factor de conversión de unidades igual a 2.78.

A = es la superficie de riego en ha.

$L_b$  = lamina bruta a aplicar durante el ciclo en cm.

P = presión dinámica total requerida por el sistema, la cual considera desde el nivel dinámico hasta la presión de operación del sistema de riego, incluye pérdidas de carga, en Kpa.

$E_{e-m}$  = eficiencia electromecánica del sistema de bombeo en porcentaje

El costo de bombeo se puede calcular mediante la siguiente relación:

$$\text{\$} = P_t \text{ TAR}$$

Donde:

TAR = tarifa eléctrica por kWh en pesos, la cual varía por zona y rango de consumo.

A continuación se presenta el cálculo del costo de energía eléctrica para una hectárea de cultivo, considerando una lámina bruta promedio de los cultivos en el distrito de riego 037 de 1300 mm al aplicar la eficiencia de riego global de 53% presente en el acuífero, una  $E_{e-m}$  promedio de 50.37 %, así como la tarifa eléctrica para uso agrícola de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) promedio para el año 2004. Los costos de energía por mes se presentan en el anexo II.

Nota: En este caso las pérdidas de carga, así como la presión de operación del sistema de riego no se toma en cuenta en el cálculo del costo de energía, debido a que se considera que su variación no afecta tanto en el costo como lo hace la profundidad de bombeo.

**Tabla 6.2** Costo de energía para diferentes profundidades del nivel dinámico.

HD (m)	P (Kpa)	Pt (kWh)	Costo de energía (pesos)			
			1-5000 kWh	5001-15000 KWh	15001-35000 KWh	Total
30.00	294.18	2110.71	\$ 894.94			\$ 894.94
50.00	490.30	3517.84	\$ 1,491.57			\$ 1,491.57
100.00	980.60	7035.68	\$ 2,120.00	\$ 956.77		\$ 3,076.77
150.00	1470.89	10553.53	\$ 2,120.00	\$ 2,610.16		\$ 4,730.16
200.00	1961.19	14071.37	\$ 2,120.00	\$ 4,263.54		\$ 6,383.54
250.00	2451.49	17589.21	\$ 2,120.00	\$ 4,704.00	\$ 1,336.03	\$ 8,160.03

Como se puede ver en la tabla anterior, el costo de energía para bombear el agua que se encuentra a un nivel dinámico de 50 m es de \$ 1491, mientras que a 250 m el costo se incrementa a \$8,160. De tal manera que el productor tendría que invertir otros \$6,668 para producir la misma hectárea de cultivo lo cual resulta incosteable.

Para el año 2001 de los 264 pozos con registro de la profundidad del nivel estático el 7 % se encuentra a mas 100 m, el 61 % se encuentra entre 50 y 100 m y sólo el 32% a menos de 50 m. Por todo lo anterior, es necesario tomar las medidas necesarias para evitar que se sigan abatiendo los niveles y evitar que aumenten los costos de producción que harían improductiva la zona agrícola de Caborca.

De un balance de agua del acuífero se tiene que la extracción sustentable es de alrededor de 204.5 Mm<sup>3</sup>, considerando una recarga natural de 146.4 Mm<sup>3</sup>, una salida horizontal de -1 Mm<sup>3</sup> y bajo las condiciones de tecnificación de los sistemas de riego presentes en el año 2001. Por lo que para evitar el continuo abatimiento del acuífero las extracciones por bombeo deben ser del orden de la extracción sustentable o menores.

A continuación se presenta y analiza el comportamiento del acuífero bajo la condición de explotación actual (2000-2001), con la finalidad de ver la evolución de los abatimientos y con ello los efectos negativos al acuífero, de seguir con niveles de explotación por arriba de las aportaciones.

## 6.2 SITUACIÓN ACTUAL

El presente escenario contempla la explotación del acuífero bajo las condiciones de explotación del periodo 2000-2001, o sea: Los mismos gastos de bombeo, la misma condición de tecnificación de los sistemas de riego de los cultivos. Bajo estas condiciones el balance de agua estimado por el modelo se presenta en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3** Balance de agua calculado por el modelo bajo la condición de explotación actual.

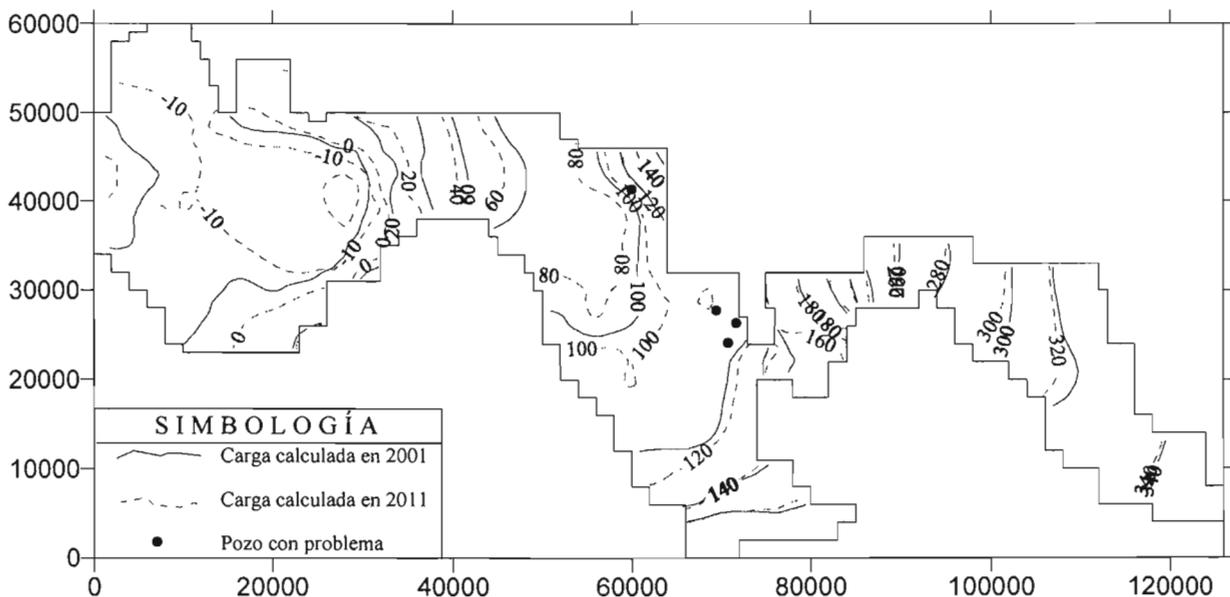
Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida Horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Intrusión Salina (Mm <sup>3</sup> )	Recarga Vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas Horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	PNE (m)
1996-1997	-625.258	-2.285	0.000	196.147	127.493	-303.903	63.74
1997-1998	-558.326	-1.788	0.000	172.964	134.291	-252.860	64.91
1998-1999	-518.367	-1.361	0.000	169.517	135.044	-215.167	65.72
1999-2000	-448.314	-1.053	0.000	140.085	135.248	-174.034	66.29
2000-2001	-363.911	-0.760	0.000	113.637	134.477	-116.557	66.50
2001-2002	-363.911	-0.621	0.017	113.637	134.207	-116.671	66.85
2002-2003	-363.411	-0.466	0.097	113.550	134.629	-115.601	67.21
2003-2004	-362.917	-0.384	0.208	113.467	135.279	-114.348	67.59
2004-2005	-362.716	-0.312	0.318	113.433	134.232	-115.045	67.99
2005-2006	-360.982	-0.250	0.430	113.156	134.306	-113.340	68.39
2006-2007	-360.831	-0.201	0.550	113.133	134.621	-112.729	68.79
2007-2008	-360.831	-0.158	0.669	113.133	134.395	-112.792	69.20
2008-2009	-360.831	-0.115	0.785	113.133	134.878	-112.150	69.61
2009-2010	-360.831	-0.076	0.901	113.133	135.380	-111.493	70.02
2010-2011	-360.176	-0.040	1.017	112.981	135.498	-110.719	70.42

De mantenerse el volumen de bombeo (363.9 Mm<sup>3</sup>) del año agrícola 2000-2001 para los años subsecuentes cuatro pozos (5234, 6828, 6830 y 6831) alcanzan el nivel del basamento por lo que tendrían que cancelarse. El volumen de extracción de estos pozos es de 3.8 Mm<sup>3</sup> por lo tanto, el volumen de bombeo disminuye de -363.9 Mm<sup>3</sup> a -360.1 Mm<sup>3</sup>. Al reducirse el volumen de bombeo también se reduce el volumen de recarga vertical por la disminución de la percolación por riego.

Uno de los aspectos críticos bajo el manejo actual del acuífero es la intrusión salina (entrada de agua del mar al acuífero). Los resultados del modelo indican para el año 1996-1997

existía una descarga ligera del acuífero al mar, sin embargo, para el año 2001-2011 se aprecia una entrada de agua salina al acuífero, la cual al final del periodo de análisis es mayor que la descarga del acuífero al mar.

En cuanto a la profundidad del nivel estático (PNE) promedio pasó de 66.85 m para el año 2001-2002 a 70.42 m para el año 2010-2011, lo cual indica que hubo un abatimiento de nivel de 3.57 m en 10 años. De acuerdo a la gráfica 3.5 el abatimiento promedio en 10 años considerando un periodo de análisis de 30 años (1970-2001) fue de 7.71m, por lo que con los niveles de explotación actual sólo se consigue bajar el abatimiento promedio en más del 50%, pero no la estabilización del acuífero. La distribución espacial de los niveles estáticos del acuífero al inicio y al final del periodo de la simulación predictiva (2001-2011), se presenta en la figura 6.1.



**Figura 6.1.** Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario actual, en m.s.n.m.

De la figura anterior se puede observar que los mayores abatimientos se presentan en la zona oeste y centro del acuífero. En la zona oeste al continuar con las mismas tasas de bombeo los niveles se continúan abatiendo propiciando la intrusión salina al acuífero. En la misma figura se presenta la ubicación de los pozos que alcanzaron el basamento del acuífero. Esto se presentó debido a que la profundidad del nivel estático de estos pozos es mayor a los 100 m y a que el espesor del acuífero es de 8.5 a 30 m en esta zona.

Entonces, el análisis de la evolución de acuífero bajo la condición de explotación actual refleja que en la zona centro habrá pozos en los cuales el nivel freático alcance el basamento eliminando la posibilidad de su explotación, mientras que en la zona oeste se va a continuar

abatiendo contribuyendo a la aportación de agua del mar al acuífero trayendo consigo problemas de intrusión salina. Para evitar estos problemas se requiere reducir los niveles de bombeo del acuífero.

El análisis anterior indica que el manejo actual del acuífero no es sustentable. De continuar la extracción actual los pozos poco a poco se agotarán, llegando a su nivel de basamento y el agua de mar recargaría al acuífero provocando un incremento de la salinidad del acuífero a niveles intolerables para los cultivos. Para evitar este escenario se proponen varias alternativas de explotación sustentable del acuífero que a continuación se analizan.

1. **Cancelación de pozos:** Como su nombre lo indica, se cancelarán los derechos de extracción de algunos pozos mediante la asignación de valores de peso que califican a los pozos.
2. **Reducción del bombeo por pozo:** Se hará el análisis el acuífero mediante la reducción de los derechos de extracción de cada pozo.
3. **Eliminación de cultivos anuales y tecnificación de sistemas de riego:** Primeramente, se hará el análisis bajo la reducción de la superficie sembrada mediante la eliminación de los cultivos anuales y el espárrago de cultivos perennes, con el objetivo de mantener a los cultivos con mayor nivel de tecnificación en los sistemas de riego. Posteriormente, con el mismo patrón de cultivos, se hará el análisis con niveles de tecnificación de los sistemas de riego mayores a los actuales.

### **6.3 ESCENARIO UNO: CANCELACIÓN DE POZOS**

Uno de los problemas para la cancelación de pozos es definir un esquema de selección de pozos a cancelar. La idea es cancelar pozos hasta alcanzar el volumen de extracción sustentable de 204 Mm<sup>3</sup>, para ello se seleccionaron seis variables importantes de los pozos, que son las siguientes:

1. **Número de pozos en batería:** Con la finalidad de reducir la densidad de pozos en todas las zonas
2. **Distancia al mar:** Debido a que al seguir con la explotación de los pozos cercanos al mar se va a provocar la intrusión salina al acuífero.
3. **Profundidad del nivel estático:** Ya que al incrementar la profundidad de bombeo incrementan los costos por consumo de energía.
4. **Espesor del acuífero:** Debido a que para espesores pequeños en poco tiempo el nivel freático llegaría al basamento del acuífero.
5. **Nivel de tecnificación agrícola:** Por los niveles de inversión económica, ya que a mayor tecnificación los niveles de inversión son mayores. Para obtener el nivel de tecnificación

se tomó en cuenta la superficie de cultivos perennes sembrados por zona, ya que se espera sean los que presenten los mayores niveles de tecnificación.

6. **Gasto de extracción:** Debido a que al afectar los pozos con mayor gasto se cancelan menos pozos y con ello el impacto social disminuye.

Una vez definidas las seis variables de los pozos se llevó a cabo la asignación de pesos que califican a los pozos. Al final se sumaron los pesos y se seleccionaron los pozos con mayor calificación hasta completar la extracción sustentable por el acuífero. A continuación se presentan los criterios tomados en cuenta para la asignación de pesos de acuerdo con cada variable.

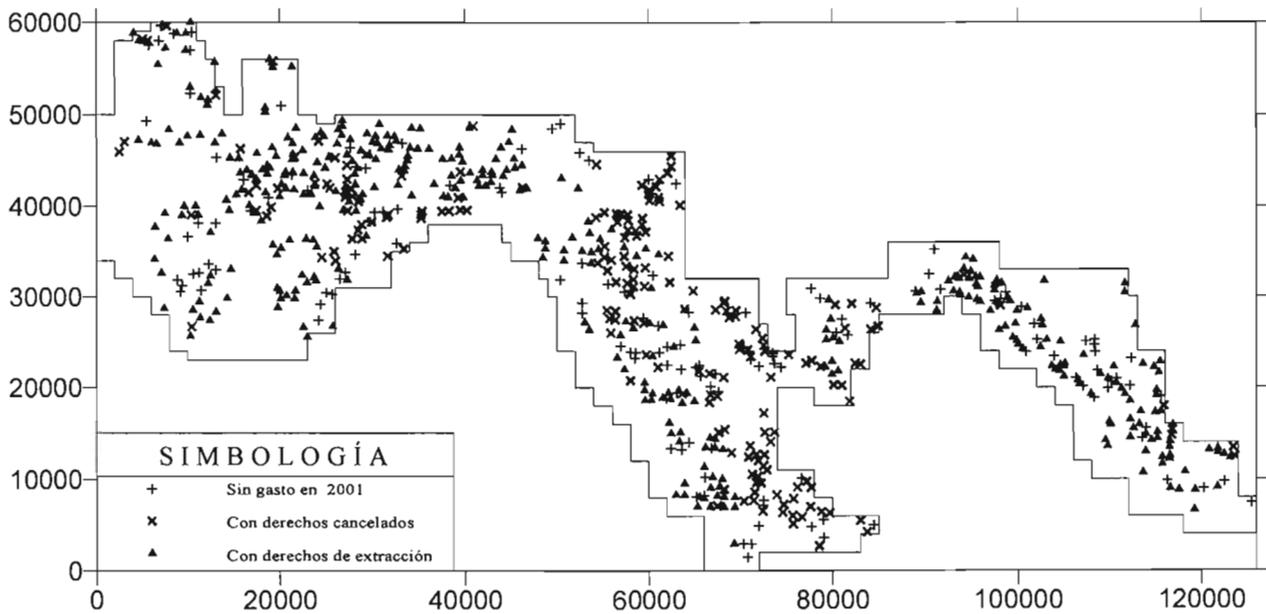
1. Número de pozos en batería (CNpn): A los pozos que se encuentran solos en un nodo se les asignó un peso de 1. Para los pozos que se encuentran con más pozos en un nodo al de menor gasto se le asignó un peso de 0.9, al siguiente de mayor gasto de 0.8, al siguiente de 0.7 hasta 0.60, ya que el máximo número de pozos por nodo fue de cuatro.
2. Distancia al mar (Cmar): Los pozos con más de 50 Km de distancia en la coordenada  $x$  de la frontera izquierda se le asignó un peso de 1, entre 50 a 30 Km de 0.9, entre 30 a 15 Km de 0.8, entre 15 a 5 Km de 0.7, y menores de 5 Km de 0.5.
3. Profundidad del nivel estático (Cpne): Se asignó un peso de 1 para una profundidad menor a 60 m, de 0.9 para un rango de 60-80 m, de 0.8 para un rango de 80-95 m, de 0.7 para un rango de 95-110 m y de 0.6 para la profundidad mayor a 110 m.
4. Espesor del acuífero (Cesp): Para espesores mayores a 150 m el peso asignado fue de 1, entre 150-100 m de 0.9, entre 100-75 m de 0.8, entre 75-50 m de 0.7 y menor a 50 m de 0.6.
5. Nivel de tecnificación agrícola (Ccultivo): La zona 1 le correspondió un peso de 0.7, la zona 2 de 0.8, la zona 3 de 0.75, la zona 4 de 0.85, la zona 5 de 0.95, la zona 6 de 1, la zona 7 de 0.9 y la zona 8 de 1.
6. El gasto de extracción (Cgasto), Los pozos con gastos menores a  $0.95 \text{ Mm}^3$  se les asignó un peso de 1, entre 0.95 a 1.25 de 0.9 entre 1.25 a 1.6 de 0.8, entre 1.6 a 2 de 0.7 y mayores a 2 de 0.6.

A continuación se presenta una tabla que muestra el número de pozos que bajo este escenario resultaron con derechos de extracción a cancelar y el respectivo gasto de extracción por zona.

**Tabla 6.4** Número de pozos con derechos de extracción a cancelar y el gasto de extracción por zona bajo el escenario uno.

Zona	Número de pozos cancelados	Número de pozos sin cancelar	Gasto de extracción (Mm <sup>3</sup> )
8	8	47	23.984
7	28	51	30.623
6	9	66	39.433
5	39	45	31.829
4	28	36	17.244
3	22	36	11.919
2	58	33	14.940
1	5	77	34.767
	197	391	204.739

Para bombear la extracción sustentable del acuífero de los 588 pozos con gasto de extracción en el año 2001 se cancelaron 197 y permanecieron 391. En la figura 6.2 se muestra la distribución de los pozos con derechos de extracción de acuerdo con el presente escenario, de los que se les cancela el derecho y de los que no presentan gasto de extracción para el año 2001.



**Figura 6.2** Distribución de pozos con derechos de extracción, con derechos de extracción a cancelar y sin gasto de extracción para el escenario uno.

Como se puede ver de la figura anterior, la mayor cancelación de pozos se presenta en la parte centro del acuífero, debido a que estos pozos fueron afectados por más de un criterio. En la

parte cercana al mar se cancelaron muy pocos pozos debido a que sólo resultan afectados por la cercanía al mar. En la parte centro-norte del acuífero a pesar de existir zona de recarga se cancelaron muchos pozos lo cual se debe principalmente a que en esta zona el espesor del acuífero es pequeño. En el Anexo III se presentan los pesos asignados a cada uno de los pozos, la suma de dichos pesos por pozo, así como la relación de los pozos con derechos de extracción para este escenario.

A continuación se presenta el balance de agua obtenido por el modelo bajo este escenario de explotación.

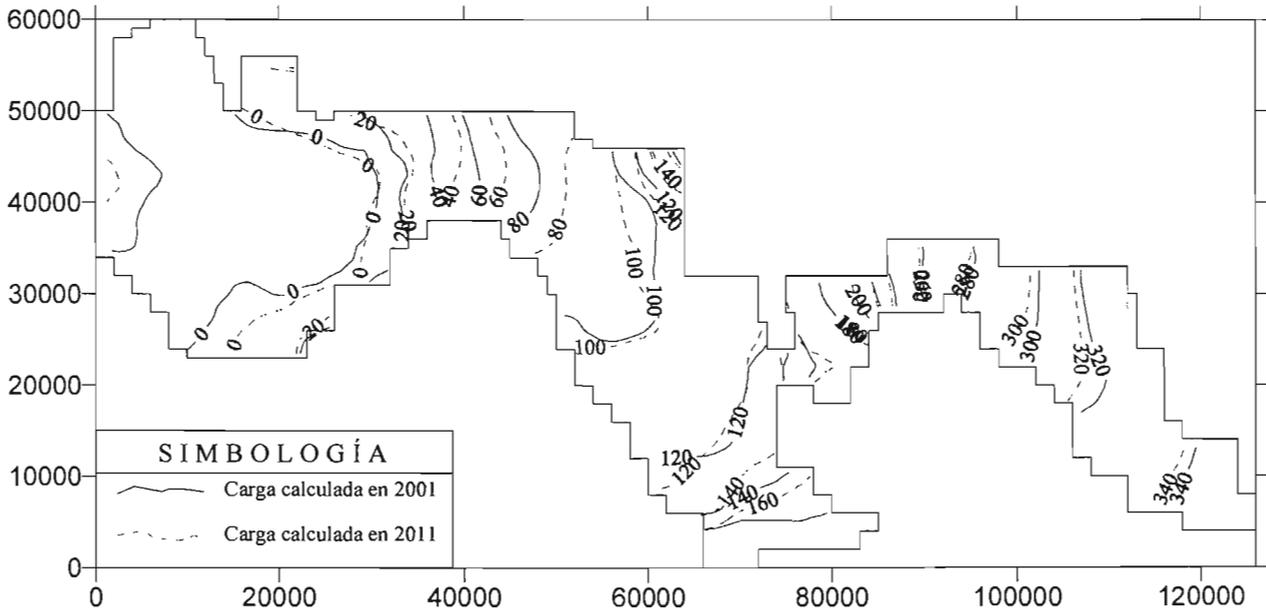
**Tabla 6.5** Balance de agua calculado por el modelo para el escenario uno.

Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida Horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Intrusión Salina (Mm <sup>3</sup> )	Recarga Vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas Horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	PNE (m)
1996-1997	-625.258	-2.285	0.000	196.147	127.493	-303.903	63.74
1997-1998	-558.326	-1.788	0.000	172.964	134.291	-252.860	64.91
1998-1999	-518.367	-1.361	0.000	169.517	135.044	-215.167	65.72
1999-2000	-448.314	-1.053	0.000	140.085	135.248	-174.034	66.29
2000-2001	-363.911	-0.760	0.000	113.637	134.477	-116.557	66.50
2001-2002	-204.739	-0.607	0.015	70.886	134.623	0.178	66.03
2002-2003	-204.739	-0.437	0.086	70.886	134.527	0.323	65.84
2003-2004	-204.739	-0.345	0.180	70.886	134.520	0.501	65.70
2004-2005	-204.739	-0.271	0.273	70.886	134.578	0.727	65.60
2005-2006	-204.739	-0.211	0.367	70.886	134.747	1.050	65.51
2006-2007	-204.739	-0.164	0.463	70.886	135.027	1.472	65.43
2007-2008	-204.739	-0.123	0.554	70.886	134.953	1.531	65.37
2008-2009	-204.739	-0.084	0.641	70.886	135.000	1.704	65.31
2009-2010	-204.739	-0.050	0.727	70.886	134.976	1.799	65.25
2010-2011	-204.739	-0.026	0.817	70.886	135.217	2.155	65.20

De acuerdo con el balance de agua anterior los niveles de bombeo para el periodo 2001-2011 se mantuvieron constantes equivalentes a la recarga sustentable por el acuífero igual – 204.739 Mm<sup>3</sup>. Lo anterior indica que ningún pozo alcanzó al basamento del acuífero en el periodo de análisis.

La salida horizontal hacia el mar bajó de –2.28 Mm<sup>3</sup> en el primer periodo de análisis a – 0.026 Mm<sup>3</sup> en el último periodo. Se presentó intrusión salina, la cual aumentó de 0.015 Mm<sup>3</sup> para el periodo 2001-2002 a 0.817 Mm<sup>3</sup> para el último periodo. Es menor a la reportada mediante el escenario anterior pero no se elimina, ya que a partir del año 2005-2006 es mayor a la descarga al mar.

El cambio de almacenamiento en el acuífero pasa de un número negativo (-116.557 Mm<sup>3</sup>) para el periodo de 2000-2001 a uno positivo (2.155 Mm<sup>3</sup>) para el periodo 2010-2011. Esta recuperación en el almacenamiento del acuífero se ve reflejado en la evolución de la profundidad del nivel freático promedio, al pasar de 66.5 m al inicio del periodo de análisis a 65.2 m al final del mismo, por lo que bajo el presente escenario existiría una recuperación promedio de 1.3m en el nivel freático en un periodo de 10 años. La distribución de las cargas para el último periodo se presenta en la figura 6.3.



**Figura 6.3** *Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario uno, en m.s.n.m.*

Bajo el presente escenario se reducen notablemente los abatimientos presentados en la parte centro y oeste por el escenario anterior. A pesar de que el balance de agua refleja una pequeña recuperación de agua no se logró el equilibrio global del acuífero, ya que se presentan zonas con recuperación de carga y otras con abatimiento. La intrusión salina sigue siendo un problema latente en la explotación del acuífero. Sin embargo, esta es una alternativa viable de explotación del acuífero en la cual se reduce el abatimiento global del acuífero.

## 6.4 ESCENARIO DOS: REDUCCIÓN DEL BOMBEO POR POZO

El presente escenario busca que los niveles de extracción del acuífero se iguales a los niveles de recarga mediante la reducción de los derechos de extracción de los pozos. Para obtener la extracción sustentable por el acuífero fue necesario reducir en un 44% el gasto de bombeo de cada uno de los pozos con registro de bombeo en el periodo 2000-2001.

A diferencia del escenario anterior, en el cual se identificaron los pozos a los cuales se les cancelaría el derecho de extracción el presente afecta a todos los pozos, por lo que quizá sea el mejor visto socialmente ya que se afectan a todos los usuarios de manera equitativa.

A continuación se presenta el balance de agua obtenido por el modelo bajo el presente escenario de explotación.

**Tabla 6.6** Balance de agua calculado por el modelo para el escenario dos.

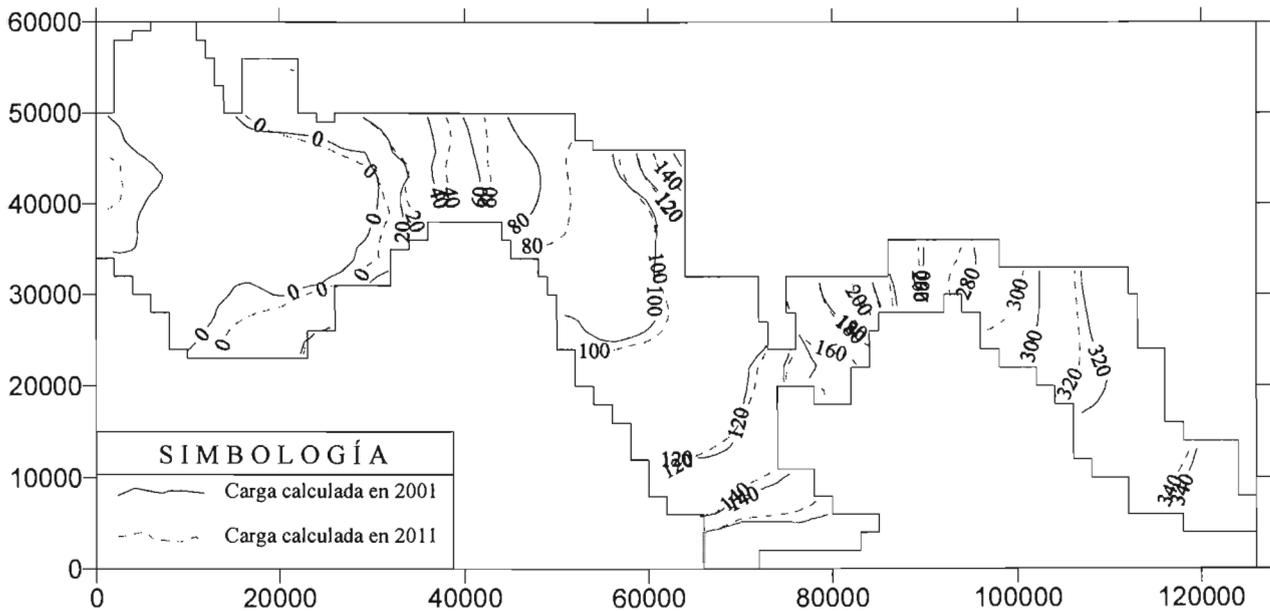
Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida Horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Intrusión Salina (Mm <sup>3</sup> )	Recarga Vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas Horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	PNE (m)
1996-1997	-625.258	-2.285	0.000	196.147	127.493	-303.903	63.74
1997-1998	-558.326	-1.788	0.000	172.964	134.291	-252.860	64.91
1998-1999	-518.367	-1.361	0.000	169.517	135.044	-215.167	65.72
1999-2000	-448.314	-1.053	0.000	140.085	135.248	-174.034	66.29
2000-2001	-363.911	-0.760	0.000	113.637	134.477	-116.557	66.50
2001-2002	-203.790	-0.604	0.016	70.616	134.688	0.926	65.952
2002-2003	-203.790	-0.431	0.087	70.616	134.773	1.257	65.683
2003-2004	-203.790	-0.342	0.176	70.616	135.131	1.792	65.481
2004-2005	-203.790	-0.271	0.257	70.616	134.995	1.808	65.316
2005-2006	-203.790	-0.214	0.334	70.616	134.897	1.843	65.175
2006-2007	-203.790	-0.170	0.410	70.616	134.971	2.038	65.049
2007-2008	-203.790	-0.133	0.482	70.616	135.087	2.263	64.934
2008-2009	-203.790	-0.097	0.548	70.616	135.052	2.329	64.828
2009-2010	-203.790	-0.066	0.611	70.616	135.131	2.502	64.729
2010-2011	-203.791	-0.039	0.674	70.615	134.873	2.333	64.636

De acuerdo con el balance de agua anterior los niveles de bombeo para el periodo de 2001 al 2011 se mantuvieron constantes, igual  $-203.79 \text{ Mm}^3$ , ajustándose a la recarga sustentable por el acuífero.

La salida horizontal hacia el mar bajó de  $-2.28 \text{ Mm}^3$  en el primer periodo de análisis a  $-0.039 \text{ Mm}^3$  en el último periodo. Se registró intrusión salina a partir del periodo 2001-2002 con

un valor de  $0.016 \text{ Mm}^3$  a  $0.674 \text{ Mm}^3$  para el último periodo. Si bien es menor a la registrada bajo el escenario uno y la situación actual ésta no se eliminaría.

El cambio de almacenamiento en el acuífero pasa de  $-116.557 \text{ Mm}^3$  para el periodo de 2000-2001 a  $2.333 \text{ Mm}^3$  para el periodo 2010-2011, por lo que existe una recuperación del almacenamiento. En cuanto a la profundidad del nivel estático pasa de 66.5 m a 64.6 m, presentando una recuperación de 1.87 m en un periodo de análisis de 10 años. La distribución de las cargas para el último periodo se presenta en la figura 6.4.



**Figura 6.4** Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario dos, en m.s.n.m.

Bajo el presente escenario se reducen notablemente los abatimientos presentados en la parte centro y oeste mediante el escenario actual. A pesar de que el balance de agua refleja una pequeña recuperación de agua, con el presente escenario no se logró el equilibrio global del acuífero, ya que se presentan zonas con recuperación de carga y otras con abatimiento. Sin embargo, al igual que el escenario anterior esta es una alternativa viable de explotación del acuífero en la cual se reduce el abatimiento global del acuífero y existe recuperación del nivel freático promedio del acuífero.

## 6.5 ESCENARIO TRES: ELIMINACIÓN DE CULTIVOS ANUALES Y TECNIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

La zona agrícola abastecida por el acuífero presenta una tecnificación contrastante, por un lado, se tienen sistemas de riego por microaspersión altamente eficientes en la aplicación del riego, principalmente en cultivos perennes, por otro, se tienen sistemas de riego poco tecnificados principalmente en cultivos anuales. Dando como resultado eficiencias de riego globales en el Distrito menores al 60%. Por lo anterior una alternativa viable es cancelar los pozos que surtan la zona agrícola con un manejo agrícola de menor eficiencia, mediante la eliminación de todos los cultivos anuales y el espárrago de cultivos perennes, debido a que la vida útil de éste es de sólo 7 años. Primero con las condiciones de riego actual y otro en el cual se considere la tecnificación de los sistemas de riego.

Al eliminar los cultivos anuales y el espárrago de cultivos perennes, la superficie a sembrar por zona es la que se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 6.7** Patrón de cultivos bajo el escenario tres.

Cultivo	Superficie por zona (Ha)								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Perennes								
Vid	380	368	490	758	2114	3781	1787	1084	10762
Olivo	20	200	10	30	251	725	665	1142	3043
Espárrago	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nogal	0	0	0	0	0	90	35	0	125
Alfalfa	256	129	166	6	216	70	38	134	1015
Cítricos	40	0	0	13	0	40	120	115	328
Durazno	0	0	0	0	0	44	19	2	65
Otros	0	60	0	23	0	9	32	0	124
Total Perennes	696	757	666	830	2581	4759	2696	2477	15462

Como se puede ver en la tabla anterior la mayor superficie a sembrar bajo este escenario se encuentra en la parte oeste del acuífero y la menor superficie en la parte este del mismo. Concentrándose la mayor superficie en la zona 6 y la menor en la zona 1.

Los requerimientos de riego para cada cultivo de acuerdo a la zona en la que se encuentre se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 6.8** Requerimiento de riego de los cultivos por zona.

Cultivo	Requerimiento de riego en mm por cultivo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	<b>Perennes</b>							
Vid	654.4	702.4	702.4	832.3	832.3	889.5	889.5	889.5
Olivo	754.2	818.9	818.9	980.3	980.3	1066.0	1066.0	1066.0
Espárrago	965.0	1063.0	1063.0	1260.7	1260.7	1372.0	1372.0	1372.0
Nogal	894.0	964.0	964.0	1075.0	1075.0	1200.0	1200.0	1200.0
Alfalfa	1282.4	1383.0	1383.0	1599.7	1599.7	1745.4	1745.4	1745.4
Cítricos	881.5	979.0	979.0	1161.0	1161.0	1277.2	1277.2	1277.2
Durazno	865.4	921.7	921.7	1092.0	1092.0	1164.0	1164.0	1164.0
Otros	899.6	976.0	976.0	1143.0	1143.0	1244.9	1244.9	1244.9

A continuación se presenta el análisis bajo el escenario tres, primero mediante la cancelación de los cultivos anuales y posteriormente bajo condiciones de tecnificación de los sistemas de riego.

### 6.5.1 ESCENARIO 3-1: CANCELACIÓN DE CULTIVOS ANUALES

De acuerdo con los requerimientos de riego de los cultivos de la tabla 6.8, la superficie a sembrar de la tabla 6.7 y las eficiencias de riego presentadas en la tabla 3.16, se estimó el volumen de agua requerido para el presente escenario con las condiciones de tecnificación actuales, presentes en el año 2001. Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 6.9** Volumen de agua requerido por los cultivos para el escenario tres.

Cultivo	Necesidad Hídrica en Mm <sup>3</sup>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Vid	3.31	3.63	5.37	9.62	25.97	50.65	24.00	13.60	136.14
Olivo	0.20	2.30	0.13	0.45	3.63	11.64	10.70	17.16	46.22
Espárrago	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nogal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.63	0.00	2.26
Alfalfa	4.37	2.51	3.58	0.15	5.10	1.84	1.00	3.30	21.84
Cítricos	0.47	0.00	0.00	0.23	0.00	0.77	2.31	2.07	5.85
Durazno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.33	0.03	1.14
Otros	0.00	0.82	0.00	0.40	0.00	0.17	0.60	0.00	1.99
Total Perennes	8.34	9.26	9.08	10.85	34.70	67.46	39.59	36.16	215.45

El requerimiento total mediante este escenario es de 215 Mm<sup>3</sup>. La mayor demanda de agua se presenta en la zona 6 por ser la que presenta mayor superficie de siembra y la menor demanda en la zona 1 y 3.

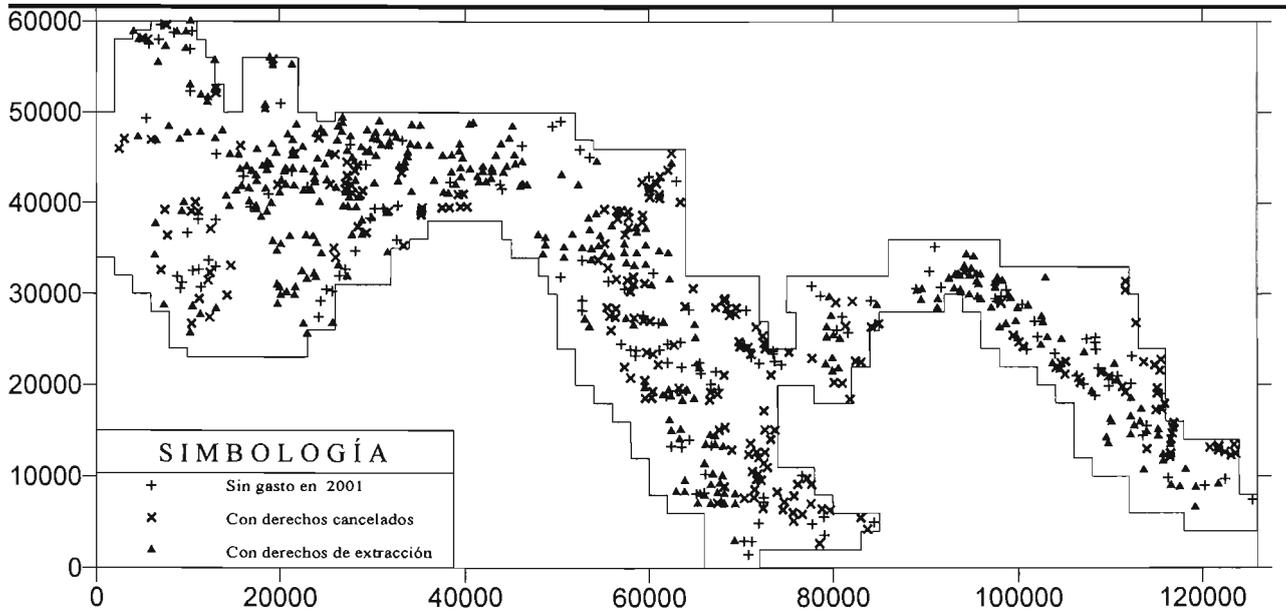
Al comparar el volumen de agua requerido en el presente escenario con el volumen de bombeo por zona durante el periodo 2000-2001 se nota que para las zonas 6 y 1 se requiere más agua de la que se bombea, cabe mencionar que sólo se están considerando a los cultivos perennes, por lo que se espera que exista una reasignación de agua entre zonas. Debido a lo anterior se estimó el volumen de agua requerido por zona considerando todos los cultivos ( $V_{total}$ ), tomando las mismas eficiencias de riego de la tabla 3.16. En el resultado obtenido existe una diferencia menor del 4 % entre el  $V_{total}$  calculado y el volumen de bombeo ( $V_{bombeo}$ ). El  $V_{total}$  resultó ser mayor. La diferencia se debe a que hubo pozos a los cuales no se les encontraron sus coordenadas, por lo que el volumen de bombeo por zona para el presente escenario se estimó mediante una ponderación con respecto al  $V_{bombeo}$ . Los resultados se presentan en la tabla 6.10.

Los pozos con derecho de extracción que se seleccionaron en el presente escenario fueron los de mejor calificación por zona en el escenario dos, hasta sumar el requerimiento por zona. El número de pozos por zona, así como la suma del volumen bombeado ( $V_{bombeo\ modelado}$ ) se presenta en la siguiente tabla. Los pozos seleccionados se presentan en el anexo III.

**Tabla 6.10** *Volumen de agua bombeada por zona y número de pozos para el escenario tres.*

Zona	$V_{total}$ ( $Mm^3$ )	$V_{bombeo}$ ( $Mm^3$ )	$V_{escenario3}$ ( $Mm^3$ )	$V_{bombeo\ escenario\ 3}$ ( $Mm^3$ )	$V_{bombeo\ modelado}$ ( $Mm^3$ )	Pozos sin cancelar	Pozos cancelados
1	19.49	39.28	8.34	16.81	18.04	41	41
2	26.20	44.29	9.26	15.66	16.86	37	54
3	21.10	25.93	9.08	11.16	11.92	36	22
4	39.39	40.34	10.85	11.11	11.94	24	40
5	51.99	71.85	34.70	47.95	46.93	62	22
6	94.06	49.39	67.46	35.43	35.74	61	14
7	52.12	58.78	39.59	44.64	44.55	68	11
8	73.57	34.05	36.16	16.74	16.37	33	22
Total	377.92	363.91	215.45	207.46	202.336	362	226

De los 588 pozos con gasto de extracción en el periodo 2000-2001 se cancelaron 226 y permanecieron 362 con un gasto total de 202.336  $Mm^3$ . En la figura 6.5 se muestra la distribución de los pozos con derechos de extracción, con derechos de extracción a cancelar y que no presentan gasto de extracción para el año 2001.



**Figura 6.5** Distribución de pozos con derechos de extracción, con derechos de extracción cancelado y sin gasto de extracción para el escenario tres.

De acuerdo con la tabla 6.10 y figura 6.5 se puede ver que el mayor número de pozos eliminados se encuentra en la parte este del acuífero (zona 1, zona 2 y zona 4), lo cual se debe a que son las zonas con menor cantidad de cultivos perennes. Si se compara la distribución de los pozos con derechos de extracción a cancelar del presente escenario con el obtenido bajo el escenario uno, “Cancelación de pozos”, (figura 6.2) se observa que se tienen una mejor distribución bajo el presente escenario, ya que bajo el escenario uno se concentraron en la parte centro.

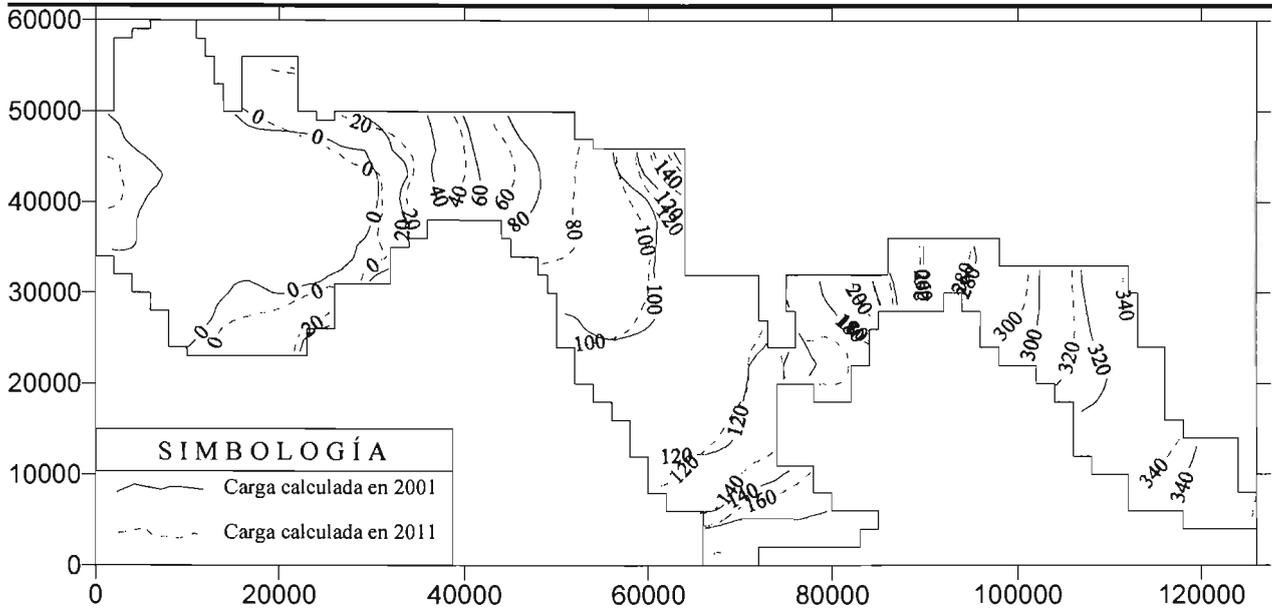
El balance de agua obtenido por el modelo bajo el presente escenario de explotación se presenta a continuación.

Tabla 6.11 Balance de agua calculado por el modelo para el escenario 3-1.

Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida Horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Intrusión Salina (Mm <sup>3</sup> )	Recarga Vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas Horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	PNE (m)
1996-1997	-625.258	-2.285	0.000	196.147	127.493	-303.903	63.74
1997-1998	-558.326	-1.788	0.000	172.964	134.291	-252.860	64.91
1998-1999	-518.367	-1.361	0.000	169.517	135.044	-215.167	65.72
1999-2000	-448.314	-1.053	0.000	140.085	135.248	-174.034	66.29
2000-2001	-363.911	-0.760	0.000	113.637	134.477	-116.557	66.50
2001-2002	-202.335	-0.607	0.015	70.191	134.356	1.659	66.01
2002-2003	-202.335	-0.439	0.082	70.191	135.053	2.611	65.80
2003-2004	-202.335	-0.348	0.165	70.191	135.375	3.093	65.64
2004-2005	-202.335	-0.278	0.246	70.191	135.156	3.019	65.52
2005-2006	-202.335	-0.219	0.321	70.191	134.933	2.927	65.41
2006-2007	-202.335	-0.174	0.396	70.191	134.740	2.818	65.32
2007-2008	-202.335	-0.135	0.467	70.191	134.692	2.879	65.23
2008-2009	-202.335	-0.100	0.533	70.191	134.865	3.154	65.16
2009-2010	-202.335	-0.068	0.595	70.191	134.904	3.288	65.08
2010-2011	-202.335	-0.041	0.658	70.191	134.438	2.911	65.02

De acuerdo con el balance de agua anterior los niveles de bombeo para el periodo de 2001 al 2011 se mantuvieron constantes equivalentes a la demanda de agua de 15462 ha de cultivos perennes igual  $-202.3 \text{ Mm}^3$ , menor a la recarga sustentable del acuífero ( $204 \text{ Mm}^3$ ). Por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero pasa de  $-116.557 \text{ Mm}^3$  para el periodo de 2000-2001 a  $2.91 \text{ Mm}^3$  para el periodo 2010-2011. La recuperación en el cambio de almacenamiento se ve reflejado en la evolución de la profundidad del nivel estático al pasar de 66.5 m al inicio del periodo de análisis a 65 m al final. El acuífero recuperaría en promedio 1.5 m en el nivel freático durante el periodo de análisis de 10 años, bajo el presente escenario. La distribución de las cargas para el último periodo se presenta en la figura 6.6.

La salida horizontal hacia el mar bajó de  $-2.28 \text{ Mm}^3$  en el primer periodo de análisis (1996-1997) a  $-0.041 \text{ Mm}^3$  en el último periodo (2010-2011), mientras que la intrusión salina aumentaría de  $0.015 \text{ Mm}^3$  para el periodo 2001-2002 a  $0.658 \text{ Mm}^3$  para el último periodo. De acuerdo con los escenarios analizados anteriormente, el presente es el que registra la menor intrusión salina, pero no se logró eliminarla.



**Figura 6.6** Curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2001 y 2011, bajo el escenario 3-1, en m.s.n.m.

Bajo el presente escenario se reducen notablemente los abatimientos en la parte centro y oeste presentados bajo el escenario “Situación actual”. No se logró el equilibrio regional de todo el acuífero, ya que se presentan zonas con recuperación de carga y otras con abatimiento, pero si se logra obtener un balance de agua positivo.

El presente escenario permite demostrar que el acuífero es capaz de abastecer de agua a 15462 ha de cultivos perennes con un requerimiento de bombeo de  $-202.335 \text{ Mm}^3$  mayor a la recarga natural del acuífero de aproximadamente  $146 \text{ Mm}^3$ , debido a que el acuífero recibe de aportaciones por retornos de riego un volumen de  $59 \text{ Mm}^3$  por las eficiencias de riego tan bajas. Sin embargo, es importante que se mejoren las eficiencias de riego de tal manera que se reduzca el consumo de agua por hectárea de cultivo y con ello los costos de producción al reducirse el bombeo. A continuación se presenta y analiza el comportamiento del acuífero bajo la tecnificación de los sistemas de riego del patrón de cultivos perennes propuesto en el presente escenario, con la finalidad ver si el acuífero tiene la capacidad de abastecer dicho patrón al reducirse las aportaciones por retornos de riego.

## 6.5.2 ESCENARIO 3-2: BAJO CONDICIONES DE RIEGO TECNIFICADO

Peña P. E. menciona en IMTA (1997a) que para proyectos de riego presurizado tecnificado, deben usarse eficiencias de conducción del orden de 98%, las eficiencias de distribución cercanas al 95%, las eficiencias de aplicación del orden del 95%, dando una eficiencia global del orden del 88%. Con eficiencias de conducción del 94% y de aplicación del 80% se lograría subir la eficiencia global en el distrito al 75%. De acuerdo con el autor anterior faltaría para considerar los sistemas de riego como tecnificados, sin embargo, de acuerdo con las eficiencias globales menores al 60% presentes en el 2001 sería un gran logro, por lo siguiente: Para regar el mismo patrón de cultivos perennes del presente escenario se estima un requerimiento de agua de 169.5 Mm<sup>3</sup>, reduciendo el volumen de agua bombeado en casi 33 Mm<sup>3</sup>. Los cálculos se muestran en las siguientes tablas

**Tabla 6.12** Volumen de agua requerido por los cultivos para el escenario tres con sistema de riego tecnificado.

Cultivo	Necesidad Hídrica en Mm <sup>3</sup>								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Vid	3.11	3.23	4.30	7.89	21.99	42.04	19.87	12.05	114.48
Olivo	0.19	2.05	0.10	0.37	3.08	9.66	8.86	15.22	39.52
Espárrago	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nogal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.53	0.00	1.88
Alfalfa	4.10	2.23	2.87	0.12	4.32	1.53	0.83	2.92	18.92
Cítricos	0.44	0.00	0.00	0.19	0.00	0.64	1.92	1.84	5.02
Durazno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.28	0.03	0.95
Otros	0.00	0.73	0.00	0.33	0.00	0.14	0.50	0.00	1.70
Total Perennes	7.84	8.24	7.27	8.89	29.39	56.00	32.77	32.06	182.46

**Tabla 6.13** Volumen de agua bombeada por zona y número de pozos para el escenario tres.

Zona	V <sub>total</sub> (Mm <sup>3</sup> )	V <sub>bombeo</sub> (Mm <sup>3</sup> )	V <sub>escenario3</sub> (Mm <sup>3</sup> )	V <sub>bombeo escenario 3</sub> (Mm <sup>3</sup> )	V <sub>bombeo modelado</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Quedan	Eliminan
1	19.49	39.28	7.84	15.80	15.76	39	43
2	26.20	44.29	8.24	13.93	14.18	29	62
3	21.10	25.93	7.27	8.94	9.29	28	30
4	39.39	40.34	8.89	9.11	9.47	18	46
5	51.99	71.85	29.39	40.61	40.32	54	30
6	94.06	49.39	56.00	29.41	29.66	52	23
7	52.12	58.78	32.77	36.96	36.46	55	24
8	73.57	34.05	32.06	14.84	14.40	25	30
Total	377.92	363.91	182.46	175.70	169.5375	300	288

El número de pozos requeridos para el bombeo de 169.5 Mm<sup>3</sup> se reduce a 300, se cancelan 62 pozos más para regar las mismas 15462 ha de cultivo. De acuerdo con el balance de agua del presente escenario ahora con las condiciones de tecnificación de los sistemas de riego actuales se tiene una recuperación del acuífero del orden de 3 Mm<sup>3</sup>, por lo que se podría pensar en incrementar la superficie de cultivo, sin embargo, al incrementar las eficiencias de riego se reduce la recarga al acuífero por retornos de riego. Se estimó que sólo el 62% de las pérdidas de agua por riego recargan al acuífero, en este caso representa un 15.5% de las extracciones por bombeo por lo que la recarga por retornos de riego baja de 59 Mm<sup>3</sup> a sólo 26.3 Mm<sup>3</sup>.

Al introducir estas condiciones al modelo se obtiene el balance de agua presente en la siguiente tabla:

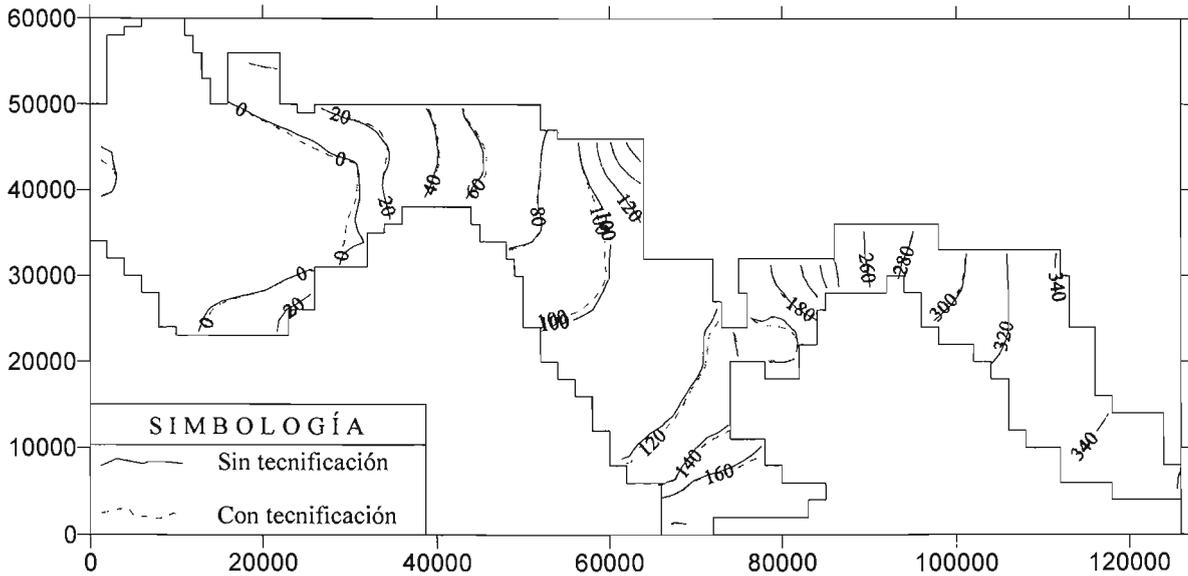
**Tabla 6.14** Balance de agua calculado por el modelo para el escenario 3-2.

Periodo	Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Salida Horizontal (Mm <sup>3</sup> )	Intrusión Salina (Mm <sup>3</sup> )	Recarga Vertical (Mm <sup>3</sup> )	Entradas Horizontales (Mm <sup>3</sup> )	Cambio de Almacenamiento (Mm <sup>3</sup> )	PNE (m)
1996-1997	-625.258	-2.285	0.000	196.147	127.493	-303.903	63.74
1997-1998	-558.326	-1.788	0.000	172.964	134.291	-252.860	64.91
1998-1999	-518.367	-1.361	0.000	169.517	135.044	-215.167	65.72
1999-2000	-448.314	-1.053	0.000	140.085	135.248	-174.034	66.29
2000-2001	-363.911	-0.760	0.000	113.637	134.477	-116.557	66.50
2001-2002	-169.547	-0.592	0.016	37.420	134.543	1.840	65.94
2002-2003	-169.547	-0.404	0.090	37.420	134.855	2.414	65.69
2003-2004	-169.547	-0.306	0.185	37.420	134.943	2.695	65.51
2004-2005	-169.547	-0.230	0.277	37.421	134.930	2.851	65.36
2005-2006	-169.547	-0.076	0.371	37.420	134.877	3.045	65.24
2006-2007	-169.547	-0.229	0.455	37.420	134.801	2.900	65.13
2007-2008	-169.547	-0.091	0.536	37.421	134.774	3.093	65.03
2008-2009	-169.547	-0.064	0.618	37.420	134.944	3.371	64.94
2009-2010	-169.547	-0.041	0.697	37.420	135.110	3.638	64.85
2010-2011	-169.547	-0.024	0.775	37.420	134.707	3.330	64.77

De la tabla anterior se puede ver que el acuífero, bajo las condiciones del presente escenario, tiene capacidad para regar el patrón de cultivos propuesto. La reducción del bombeo es de aproximadamente 33 Mm<sup>3</sup> al incrementar la eficiencia de riego global a 75%, pero a su vez, la reducción por percolación de riego es de 32.8 Mm<sup>3</sup>, de tal manera que la recuperación del acuífero es del orden de 3 Mm<sup>3</sup> por periodo.

La salida horizontal hacia el mar bajaría de -0.041 Mm<sup>3</sup> a -0.024 Mm<sup>3</sup> en el último periodo de análisis. Mientras que la entrada de agua de mar al acuífero aumentaría de 0.658 Mm<sup>3</sup> a 0.775 Mm<sup>3</sup> para el último periodo.

En cuanto a la evolución del nivel estático en el periodo de análisis de 10 años, bajo la cancelación de cultivos anuales hubo una recuperación de 1.48 m, mientras que con la tecnificación de los sistemas de riego fue de 1.73 m. Con este último se observa una mayor recuperación del acuífero. La distribución de las cargas hidráulicas calculadas para el año 2011 se presenta en la siguiente figura:



**Figura 6.7** Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2011, en m.s.n.m., bajo el escenario tres en sus dos modalidades: Cancelación de cultivos anuales y Tecnificación de los sistemas de riego.

De la figura anterior se puede ver que existen zonas en la parte oeste y centro del acuífero en las cuales se presenta una recuperación de la carga, la cual no es muy significativa debido a la reducción en la recarga vertical por percolación del riego.

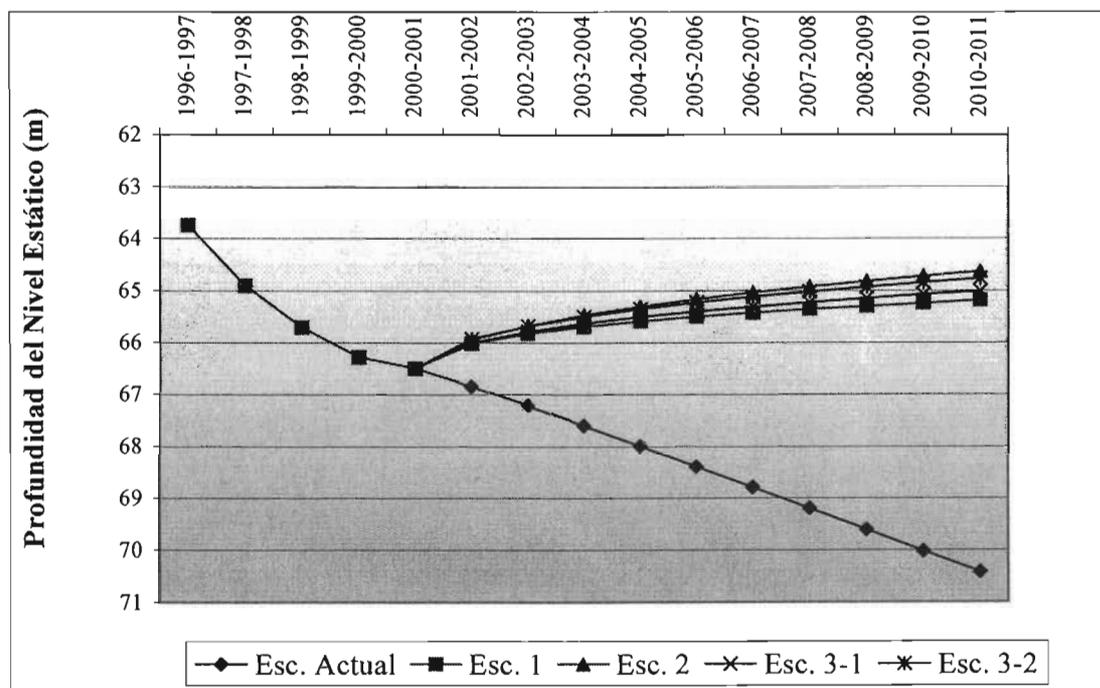
Basándose en el comportamiento del presente escenario, se concluye que es importante que se lleve a cabo la tecnificación de los sistemas de riego para reducir las pérdidas por percolación del riego, ya que de acuerdo con los escenarios manejados en el presente trabajo es necesario reducir las extracciones por bombeo, lo cual trae consigo una disminución de la superficie de cultivo sembrada. Al mejorar las eficiencias de riego dicha disminución será menor a la necesaria mediante las eficiencias de riego actuales. Cabe mencionar que para ello se requiere de una fuerte inversión inicial la cual, sin embargo, una vez tecnificados los sistemas de riego se reducen los costos de producción por hectárea debido a la reducción del bombeo.

## 6.6 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

### 6.6.1 EVOLUCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

A continuación se presenta un resumen de la evolución del nivel freático en el acuífero, bajo los diferentes escenarios de manejo analizados en el presente trabajo.

En la siguiente gráfica se puede ver la evolución del nivel freático durante el tiempo de la calibración del modelo, así como durante la modelación predictiva bajo los diferentes escenarios de manejo propuestos.



**Gráfica 6.1** Evolución del nivel estático bajo cada uno de los escenarios

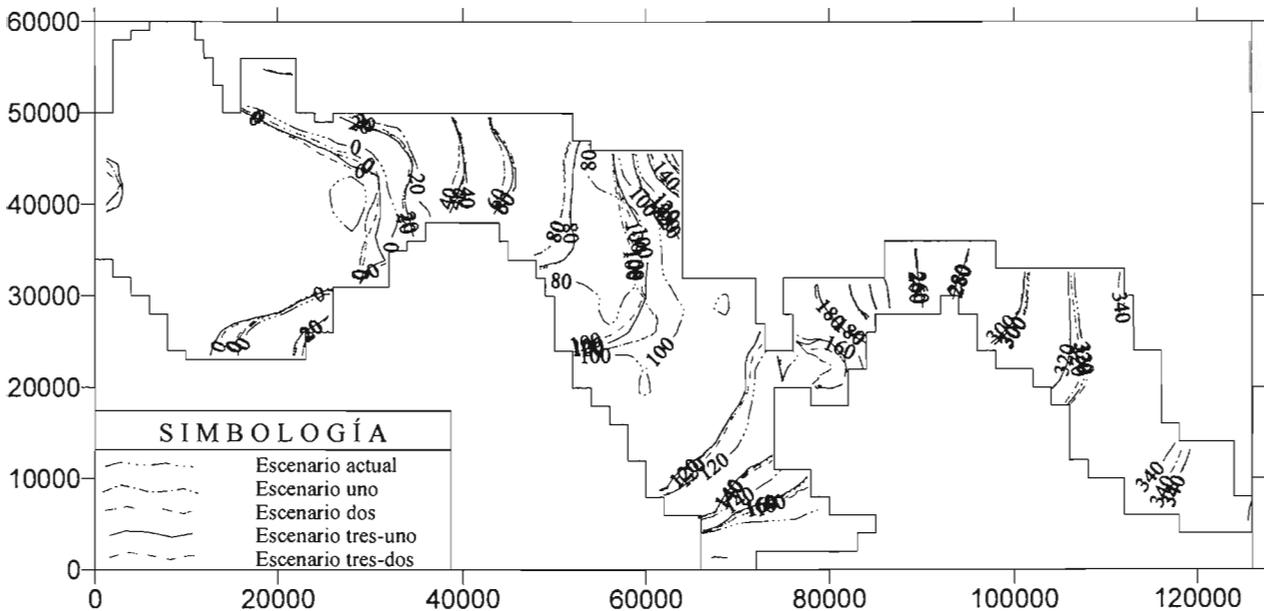
De acuerdo con la gráfica anterior, de seguir bajo la explotación actual (2000-2001) se registraría un continuo abatimiento del acuífero, disminuyendo el nivel estático a un ritmo menor al observado durante los primeros años del periodo de la calibración (1996-2001). Para evitar este abatimiento se proponen tres escenarios, que de acuerdo con la evolución de la profundidad del nivel freático, garantizan una explotación sustentable por el acuífero. En la siguiente tabla se presenta la recuperación promedio del nivel freático durante el tiempo de la modelación predictiva (2001-2011).

**Tabla 6.15** Recuperación promedio del nivel freático bajo los diferentes escenarios

Situación Actual (m)	Escenario Uno (m)	Escenario Dos (m)	Escenario Tres-Uno (m)	Escenario Tres-Dos (m)
-3.92	1.31	1.87	1.48	1.73

De acuerdo con la evolución del nivel estático, el Escenario Dos (Reducción del bombeo por pozo) es el que presenta una mayor recuperación, la cual es de 1.87 m, seguido del Escenario Tres-Dos (Bajo condiciones de riego tecnificado) con una recuperación de 1.73 m. El escenario con menor recuperación fue el Escenario Uno (Cancelación de pozos) con un valor de 1.31 m.

A continuación se presenta una figura en la cual se muestran las curvas de igual elevación del nivel estático, obtenidas bajo cada uno de los escenarios de manejo del acuífero para el año 2011.



**Figura 6.8** Comparación de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2011 obtenidas bajo cada escenario, en m.s.n.m.

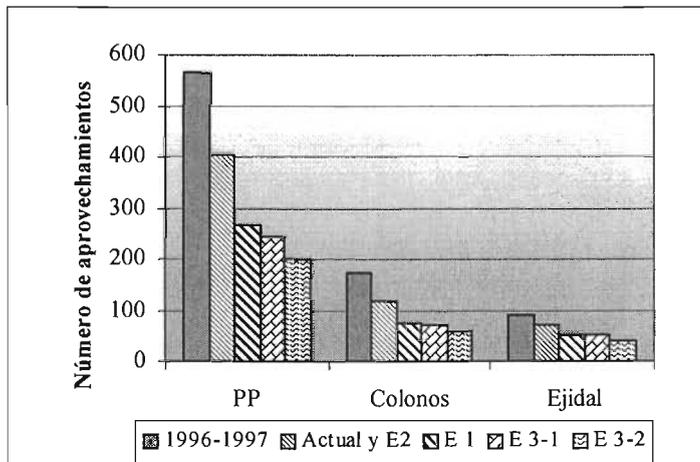
En la figura anterior se puede observar que los mayores abatimientos del nivel freático en el acuífero se presentarían de seguir con la explotación actual. El escenario uno y dos presentan casi el mismo comportamiento en las cargas, mientras que los escenarios tres-uno y tres-dos presentan en la región Este del acuífero mayor recuperación del nivel freático, debido a que ésta constituye una de las principales zonas de recarga y a la reducción del volumen de bombeo en dicha zona.

## 6.6.2 TENENCIA DE LA TIERRA

Para el año 1996-1997 la pequeña propiedad contaba con el 68.1 de los pozos de bombeo, los colonos con el 20.8% y los ejidatarios el 11.1%. A continuación se presenta en la tabla 6.16 y gráfica 6.2 el número de aprovechamiento de bombeo por los diferentes tipos de tenencia de la tierra para cada uno de los escenarios propuestos y en la gráfica 6.3 y tabla 6.17 los porcentajes que ocupa el tipo de tenencia de la tierra en función al número de aprovechamientos de bombeo por escenario.

**Tabla 6.16** Aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.

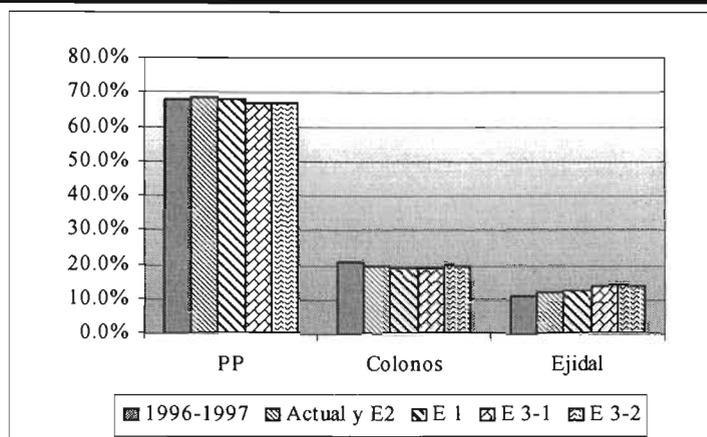
Tenencia	1996-1997	Situación Actual y Escenario Dos	Escenario Uno	Escenario Tres-Uno	Escenario Tres-Dos
Pequeña propiedad	565	402	266	242	200
Colonos	173	116	74	69	59
Ejidal	92	70	51	51	41
Total	830	588	391	362	300



**Gráfica 6.2** Aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.

**Tabla 6.17** Porcentaje de los aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.

Tipo de Tenencia	1996-1997	Actual	E 1	E 2	E 3-1	E 3-2
Pequeña propiedad	68.1%	68.4%	68.0%	68.4%	66.9%	66.7%
Colonos	20.8%	19.7%	18.9%	19.7%	19.1%	19.7%
Ejidal	11.1%	11.9%	13.0%	11.9%	14.1%	13.7%



**Gráfica 6.3** Porcentaje de los aprovechamientos de bombeo por cada tipo de tenencia de la tierra por escenario.

El Escenario Dos contempla la reducción del bombeo de cada uno de los pozos, por lo que el número de pozos de bombeo se conserva igual al presente en el Escenario de la Situación Actual; 68.4% para los pequeños propietarios, 19.7% para los colonos y 11.9% para los ejidatarios. Como se puede ver no existe mucha variación de la situación actual con la que prevalecía en el año 1996-1997.

De acuerdo con las dos tablas y gráficas anteriores, a pesar de que los escenarios Uno, Tres-Uno y Tres-Dos contemplan la cancelación de los derechos de extracción de agua de algunos aprovechamientos de bombeo, no existe mucha variación en la proporción que ocupa cada uno de los tipos de tenencia de la tierra. Sin embargo, si se aprecia un incremento en el porcentaje pozos concesionados al tipo de tenencia ejidal, para el escenario Uno y Tres-Uno se deben a una reducción en el porcentaje de pequeña propiedad y colonos, mientras que para el escenario Tres-Dos se debe a la reducción del porcentaje de la pequeña propiedad.

### 6.6.3 PATRÓN DE CULTIVOS

Si se analiza la evolución del patrón de cultivos en el Distrito de Riego 037 (tabla 3.7) se puede ver que ha habido variación en los cultivos establecidos. Hay cultivos que se han dejado de cultivar como el fríjol, el maíz de grano, el pepino y la sandía. Otros solo han disminuido como es la superficie establecida por algodón y trigo. Mientras que otros han aumentado su superficie como lo son la alfalfa y el melón. Sin embargo, los cambios realizados no han repercutido en un mejor aprovechamiento del acuífero, ya que el volumen de agua susceptible de ser bombeado es menor al requerimiento de riego del patrón de cultivos actual por lo que es necesario definir cuales serían los cultivos más recomendables en la zona.

Mientras que para el Escenario Tres en sus dos modalidades (Eliminación de cultivos anuales y tecnificación de los sistemas de riego) se hizo la propuesta de un patrón de cultivos, para los Escenarios Uno y Dos únicamente se propuso la reducción del bombeo sin manejar un patrón en particular. A continuación se analizan tres patrones de cultivos que garantizan la extracción sustentable de agua del acuífero.

Tomando en cuenta el factor social de la zona se puede sembrar un 54 % de la superficie cosechada en el año 2000-2001, lo cual equivale a una superficie de 16,178 Ha con un requerimiento de riego promedio de 139.3 Mm<sup>3</sup>, el cual al aplicarle las eficiencias de riego se incrementa a 204.8 Mm<sup>3</sup>. El patrón de cultivos propuesto queda como se muestra en la tabla 6.18

**Tabla 6.18** Patrón de cultivos 1: Mediante la reducción de la superficie sembrada de todos los cultivos.

Cultivo	Superficie de siembra (Ha)	RR promedio (mm)	RR total (Mm <sup>3</sup> )	Volumen de Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Valor de la producción (\$)
<b>Perennes</b>					
Alcachofa	25	890	0.23	0.33	2,672,514
Alfalfa Achicalada	791	1502	11.88	17.46	9,850,378
Almendro	12	890	0.11	0.16	171,072
Chabacano	13	1010	0.13	0.19	111,672
Durazno	80	1010	0.81	1.19	1,107,918
Espárrago	2,441	1165	28.44	41.80	402,873,955
Manzano	28	890	0.25	0.37	706,320
Naranja	370	1074	3.97	5.84	12,206,700
Nogal (nuez)	77	1033	0.80	1.17	200,880
Olivo (aceituna)	1,731	904	15.65	23.01	30,093,122
Vid (industrial)	4,307	769	33.13	48.70	118,968,880
Vid (mesa)	1,904	769	14.64	21.52	226,298,016
<b>Total perennes</b>	<b>11,777</b>		<b>110.02</b>	<b>161.73</b>	<b>805,261,426</b>
<b>Otoño -Invierno</b>					
Avena forrajera	22	890	0.19	0.28	219,240
Rye Grass	70	890	0.63	0.93	864,297
Trigo Grano	3,237	646	21.29	31.29	26,296,272
<b>Total O-I</b>	<b>3,328</b>		<b>22.12</b>	<b>32.51</b>	<b>27,379,809</b>
<b>Primavera - Verano</b>					
Algodón	547	890	4.78	7.02	7,212,370
Melón	436	452	1.97	2.89	83,406,737
Sorgo forrajero	36	890	0.32	0.47	199,584
Sorgo grano	64	890	0.57	0.84	363,650
<b>Total P-V</b>	<b>1,072</b>		<b>7.63</b>	<b>11.22</b>	<b>91,182,340</b>
<b>Total general</b>	<b>16,178</b>		<b>139.37</b>	<b>204.87</b>	<b>923,823,575</b>

Para el cálculo del volumen de bombeo se consideró el requerimiento de riego (RR) promedio de la tabla 3.13, cabe mencionar que a los cultivos que no están presentes en dicha tabla se les consideró el valor promedio de los demás siendo igual a 890 mm.

De esta manera se afecta a cada una de las parcelas por igual, sin embargo, de igual manera se reduce los beneficios económicos de los agricultores en un 46% pasando de 1710,784.0 miles de pesos a 923,823.5 miles de pesos. Este patrón de cultivos funcionaria para el escenario Dos ya que en éste se propone la reducción del bombeo por igual en cada uno de los pozos.

Una forma de reducir la afectación económica pero sin tomar en cuenta el aspecto social sería mediante la conservación de los cultivos de mayor valor económico. Conservando la superficie sembrada por alcachofa, espárrago, vid de mesa, vid industrial y melón, para lo cual se requeriría bombear un volumen de aproximadamente 213 Mm<sup>3</sup>. Para garantizar la extracción sustentable se tendría que reducir la superficie sembrada de vid industrial de 7975 Ha a 7200 Ha, por ser dentro de estos cultivos el que tiene el menor valor de la producción, ver tabla 6.19.

**Tabla 6.19** Patrón de cultivos 2: Mediante la conservación de los cultivos más rentables.

Cultivo	Superficie sembrada (Ha)	RR total (Mm <sup>3</sup> )	Volumen de Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Valor de la producción (\$/Ha)	Valor de la producción (\$)
<b>Perennes</b>					
Alcachofa	47	0.42	0.61	105,300	4,949,100
Espárrago	4,520	52.66	77.41	165,058	746,062,880
Vid (industrial)	7,200	55.39	81.42	27,625	198,903,038
Vid (mesa)	3,525	27.12	39.86	118,885	419,070,400
<b>Total perennes</b>	<b>15,292</b>	<b>135.59</b>	<b>199.30</b>	<b>68,373</b>	<b>1,368,985,418</b>
<b>Primavera -Verano</b>					
Melón	807	3.64	5.36	191,396	154,456,920
<b>Total P-V</b>	<b>807</b>	<b>3.64</b>	<b>5.36</b>	<b>85,023</b>	<b>154,456,920</b>
<b>Total general</b>	<b>16,099</b>	<b>139.23</b>	<b>204.66</b>	<b>57,104</b>	<b>1,523,442,338</b>

Con el patrón de cultivos anterior permanecerían 16,099 Ha de cultivo con un valor de la producción de 1523,442.3 miles de pesos, por lo que sólo bajarían los beneficios económicos en un 11% con respecto a los presentes en el año 2000-2001. Sin embargo, no es un patrón de cultivos recomendable de aplicar debido a que habría poca variabilidad de cultivos lo cual puede traer consigo problemas agronómicos como la fácil propagación de plagas y el empobrecimiento de las tierras agrícolas, así como problemas económicos por la caída de los precios y comercialización del producto.

Haciendo un análisis cada uno de los cultivos establecidos en el distrito empezando con los perennes se propone lo siguiente: Conservar la superficie sembrada por alcachofa debido a su alto valor de producción. Eliminar la superficie sembrada de alfalfa debido a que requiere una lámina de riego muy alta de 1500 mm y a que de acuerdo con la tabla 3.10 sólo 36 Ha cuentan con un sistema de riego tecnificado. Se recomienda que se conserve la superficie sembrada por almendro, manzano y chabacano, ya que su valor de la producción es mayor a 8,616 \$/Ha, además la superficie sembrada por dichos cultivos es de apenas 22, 52 y 24 Ha respectivamente. Dándole privilegio a la superficie sembrada bajo un sistema de riego tecnificado se recomienda conservar 24 Ha de durazno regadas por goteo, 3485 Ha de espárrago regadas con cinta de goteo, 80 Ha de naranja establecidas bajo microaspersión, 150 Ha de goteo y 735 Ha de microaspersión de olivo, así como 8080 Ha de vid regadas por goteo. Eliminar la superficie establecida de nogal por ser regada por gravedad y por que su valor de producción es de apenas 2,600 \$/Ha. Dando un total de 12,699 Ha de cultivos perennes con un requerimiento de bombeo de 166.3 Mm<sup>3</sup>. De los cultivos de Otoño – Invierno se propone conservar las 40 Ha de avena forrajera y las 129 Ha de rye grass, mientras que de trigo se recomienda conservar una 2000 Ha ya que aunque su valor de la producción no es muy alto de apenas 8124 \$/Ha su requerimiento de riego es bajo de 646 mm. Finalmente, de los cultivos de Primavera-Verano se recomienda conservar las 807 Ha establecidas de melón ya que su requerimiento de riego es muy bajo de 450 mm y a su alto valor de la producción, conservar las 994 Ha de algodón ya que su valor de la producción es mayor a los 13,436 \$/Ha, sin embargo, se propone eliminar las 119 Ha de sorgo de grano y las 66 Ha de sorgo forrajero ya que su valor de la producción es de apenas 5600 \$/Ha. El patrón de cultivos completo se muestra en la tabla 6.20.

El patrón de cultivos descrito anteriormente (tabla 6.20) es el que se recomienda aplicar en el distrito de riego 037, ya que en este último se está eliminando el cultivo de mayor consumo de agua que es la alfalfa y los cultivos de menor valor de la producción; nogal, sorgo de grano y forrajero, por otro lado, se conservarían los cultivos del valor de la producción más alto y los de mayor tecnología en la aplicación del riego. A su vez, el valor de la producción sólo se reduciría en un 22% con respecto al presente en el año 2000-2001, conservando la mayor superficie de cultivos sembrada 16,519 Ha.

**Tabla 6.20 Patrón de cultivos 3: Mediante el análisis de los beneficios de cada cultivo.**

Cultivo	Superficie sembrada (Ha)	RR total (Mm <sup>3</sup> )	Volumen de Bombeo (Mm <sup>3</sup> )	Valor de la producción (\$/Ha)	Valor de la producción (\$)
<b>Perennes</b>					
Alcachofa	47	0.42	0.61	105,300	4,949,100
Almendro	22	0.20	0.29	14,400	316,800
Chabacano	24	0.24	0.36	8,616	206,800
Durazno	24	0.24	0.36	13,862	332,708
Espárrago	3,485	40.60	59.68	165,058	575,227,685
Manzano	52	0.46	0.68	25,153	1,308,000
Naranja	80	0.86	1.26	33,000	2,640,000
Olivo (aceituna)	885	8.00	11.76	17,387	15,388,232
Vid (industrial)	4,555	35.04	51.51	27,625	125,833,797
Vid (mesa)	3,525	27.12	39.86	118,885	419,070,400
<b>Total perennes</b>	<b>12,699</b>	<b>113.18</b>	<b>166.37</b>	<b>68,373</b>	<b>1,145,273,522</b>
<b>Otoño -Invierno</b>					
Avena forrajera	40	0.36	0.52	10,150	406,000
Rye Grass	129	1.15	1.69	12,407	1,600,550
Trigo Grano	1850	11.95	17.56	8,124	15,029,877
<b>Total O-I</b>	<b>2,019</b>	<b>14.42</b>	<b>19.77</b>	<b>8,227</b>	<b>16,610,427</b>
<b>Primavera -Verano</b>					
Algodón	994	8.85	13.00	13,436	13,356,240
Melón	807	3.64	5.36	191,396	154,456,920
<b>Total P-V</b>	<b>1801</b>	<b>12.49</b>	<b>18.36</b>	<b>85,023</b>	<b>167,813,160</b>
<b>Total general</b>	<b>16,519</b>	<b>140.09</b>	<b>204.51</b>	<b>57,104</b>	<b>1,329,697,109</b>

El valor de la producción del patrón de cultivos propuesto en el Escenario Tres es de 696,603.9 miles de pesos, el menor obtenido si se compara con los tres patrones de cultivos analizados anteriormente. Por otro lado la superficie a sembrar también resulta ser la menor, de 15,462 Ha. Lo anterior se debe a que el objetivo en este patrón de cultivos fue conservar a los cultivos perennes a excepción del espárrago por tener una vida útil de 7 años. Por lo que desde el punto de vista económico el patrón de cultivos propuesto en este escenario no es el más apto.

De los patrones de cultivos analizados en el presente apartado el tercero es el que más se recomienda aplicar en el Distrito de Riego 037. Sin embargo, para aumentar la superficie de siembra con la misma cantidad de bombeo se requiere llevar a cabo la instalación de sistemas de riego altamente tecnificados, ya sea por aspersión, microaspersión o goteo, en toda la superficie sembrada, de tal manera que se reduzcan al mínimo las pérdidas de agua. Otra forma de reducir el consumo de agua es mediante la instalación de invernaderos, pero para ello se requiere una inversión económica muy grande, por lo que se podría planear su instalación a largo plazo.

## **VII. CONCLUSIONES**

---

El modelo de simulación numérica aplicado al flujo subterráneo del acuífero del valle de Caborca, Sonora, es una herramienta que permitió conocer el funcionamiento del acuífero y las posibles condiciones a futuro bajo diferentes escenarios de manejo del mismo. De los resultados obtenidos durante el presente estudio se puede concluir lo siguiente:

Se estimó la recarga natural sostenible en el acuífero en  $146 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , la cual se compone de las aportaciones subterráneas, de la infiltración por lluvia y de la infiltración por ríos. Otra aportación importante de agua al acuífero es la percolación por retornos de riego, misma que oscila alrededor del 30% del agua que se extrae por bombeo. Estas dos fuentes de recarga son insuficientes para satisfacer las extracciones por bombeo, las cuales constituyen el principal aprovechamiento de agua en el acuífero, razón por la cual existe abatimiento del nivel freático, pues a pesar de que la extracción de agua subterránea se redujo de  $625.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$  a  $363.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$  en el periodo de tiempo de 1996-2001, el abatimiento del nivel freático no ha cesado, aunque disminuyó el promedio anual de  $-1.19 \text{ m}$  a  $-0.459 \text{ m}$  en el mismo periodo de tiempo.

Se determinó el error máximo permisible en el modelo del acuífero de Caborca en  $18 \text{ m}$ , y se observó que los tres parámetros de error que proporciona el programa de Mod Flow, Error medio (EM), Error medio absoluto (EMA) y la Desviación estándar (RMS), son siempre menores al error máximo permisible. Durante el periodo de calibración, comprendido entre los años de 1996 al 2001, los errores medios obtenidos indican que las cargas hidráulicas medidas son mayores a las calculadas en diferencias del orden de  $0.80 \text{ m}$  a  $1.18 \text{ m}$ , el error medio absoluto varía de  $2.40 \text{ m}$  a  $3.57 \text{ m}$ , mientras que la desviación estándar va de  $3.02 \text{ m}$  a  $4.36 \text{ m}$ , presentándose los errores más pequeños para el primer periodo de 1996-1997 y los más grandes para el 2000-2001. En cuanto a la distribución de las cargas para el primer año de calibración (1997) existe una buena concordancia entre las curvas de igual elevación del nivel estático medido con el calculado, para el último año de la calibración (2001) se presenta la mayor diferencia entre las cargas medidas y las simuladas. Con base a lo anterior, se puede afirmar que el modelo del acuífero del valle de Caborca, elaborado en el presente trabajo, representa las condiciones reales del mismo dentro de los límites máximos de error permitido.

Mediante un análisis de la evolución del acuífero, se estimó que, bajo las condiciones de explotación actual, el tiempo de vida de éste varía de 136 a 797 años, considerando el abatimiento total del espesor saturado del acuífero. A pesar de que en apariencia el tiempo de vida del acuífero es grande, es necesario considerar que conforme aumente la profundidad de bombeo los costos por consumo de energía se incrementan, ya que para una profundidad del nivel dinámico a  $50 \text{ m}$  el costo de energía por bombeo por hectárea de cultivo es de  $\$1,491$ , para un nivel a  $250 \text{ m}$  es de  $\$8,160$ , haciendo incosteable la explotación del acuífero para uso agrícola.

Una vez calibrado el modelo se llevó a cabo la simulación predictiva del acuífero durante un periodo de análisis de 2001 a 2011 bajo cuatro posibles escenarios de manejo: continuar con el esquema actual de explotación y tres escenarios sustentables por el acuífero. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 5.15 y en la gráfica 5.1 de los cuales se desprende lo siguiente:

De seguir bajo la explotación actual (2000-2001), se registrará un continuo abatimiento del acuífero el cual será de -3.92 m durante el periodo de la simulación predictiva. En la parte central del acuífero se registrarán pozos en los cuales el nivel freático alcanzaría el basamento eliminando la posibilidad de su explotación. En la parte Oeste, el continuo abatimiento contribuye a la aportación de intrusión salina trayendo consigo problemas de salinidad, por lo que no se debe seguir bajo este esquema de explotación.

El Escenario Uno contempló el cierre de pozos de bombeo bajo diferentes criterios, observándose la mayor cancelación de pozos en la parte central del acuífero. Bajo estas condiciones el cambio de almacenamiento arrojó valores positivos, los cuales van de 0.025 Mm<sup>3</sup> a 2.155 Mm<sup>3</sup>, presentándose de esta manera una recuperación del acuífero. Sin embargo, de los tres escenarios sustentables éste fue el que registró menor recuperación en el nivel freático por lo que no se considera como la condición de explotación del acuífero más viable.

El Escenario Dos consistió en reducir los gastos de extracción de los pozos del periodo 2000-2001 en un 44%. Se observó una recuperación en el acuífero del orden de 0.926 Mm<sup>3</sup> a 2.333 Mm<sup>3</sup> por año, lo cual se traduce en la mayor recuperación del nivel freático de los escenarios propuestos, misma que es de 1.87 m durante el periodo de calibración. Con base a lo anterior se considera como el escenario de mejor comportamiento, además de que posiblemente sea el mejor visto socialmente ya que se afectan a todos los usuarios de manera equitativa.

Por su parte, el Escenario Tres consistió en eliminar todos los cultivos anuales y al espárrago de los cultivos perennes reduciendo la superficie a sembrar de 29,959 Ha a 15,462 Ha. Este escenario presenta dos modalidades, en la primera de ellas (Tres-Uno) se consideraron las condiciones de riego actuales y en la segunda (Tres-Dos) se consideró la tecnificación de los sistemas de riego. Es importante señalar que al reducir el área cultivada se disminuyó la demanda de agua por lo que fue posible clausurar algunos pozos de bombeo.

En lo referente al Escenario Tres-Uno se encontró que el requerimiento de agua total fue de 202.3 Mm<sup>3</sup> menor a la extracción sostenible por el acuífero en alrededor de 204 Mm<sup>3</sup>, la cual se calculó empleando las eficiencias de riego actuales. El mayor número de pozos eliminados se encontró en la parte este del acuífero por ser la zona con menos superficie de cultivos perennes. El acuífero respondió a este escenario favorablemente, ya que se recuperó

---

el nivel freático en 1.48 m durante el periodo de la simulación predictiva, además en este caso se presentó el menor volumen de intrusión salina.

Finalmente, en el escenario de explotación Tres-Dos se propuso incrementar la eficiencia de riego global pasando de valores menores del 60% al 75%, como resultado de la tecnificación de los sistemas de riego de los cultivos propuestos en el escenario Tres-Uno. De esta manera el requerimiento de agua es de 169.5 Mm<sup>3</sup>, casi 33 Mm<sup>3</sup> menos que en el escenario tres-Uno. Se estimó que sólo el 62% de las pérdidas de agua por riego recargan al acuífero, en este caso representó un 15.5% de las extracciones por bombeo, por lo que la recarga por retornos de riego bajó de 59 Mm<sup>3</sup> a sólo 26.3 Mm<sup>3</sup>. Bajo estas condiciones se encontró que el acuífero aumenta su nivel freático en 1.73 m durante el periodo de la simulación predictiva, el cual es mayor al observado en el escenario Tres-Uno.

En cuanto a la tenencia de la tierra, los escenarios propuestos afectan a los tres tipos de tenencia, siendo la más afectada la pequeña propiedad pasando de un 68.4% de aprovechamientos de bombeo concesionados a un 66.7% en el peor de los casos, le sigue la tenencia en manos de los colonos, la cual varía de 19.7% a 18.9%; finalmente la propiedad ejidal sufre un aumento en el porcentaje de aprovechamientos de bombeo concesionados, ya que pasa del 11.1 % al 14.1% en el mejor de los casos bajo el escenario Tres-Uno.

Se analizaron tres patrones de cultivos adicionales al propuesto en el Escenario Tres, que garantizan una extracción de bombeo sustentable por el acuífero, de los cuales, se recomienda establecer el tercero ya que en éste se está eliminando el cultivo de mayor consumo de agua, la alfalfa, y los cultivos de menor valor de la producción: nogal, sorgo de grano y sorgo forrajero, mientras que se conservarían los cultivos del valor de la producción más alto y los de mayor tecnología en la aplicación del riego. Con este patrón se conservaría la mayor superficie de cultivos sembrada, 16,519 Ha, y el valor de la producción sólo se reduciría en un 22% con respecto al presente en el año 2000-2001.

Por todo lo anterior, se puede decir que se presentan tres escenarios de manejo del acuífero, los cuales reducen los efectos negativos provocados por una mala explotación al proponer un volumen de extracción sostenible por éste. Sin embargo, cualquiera de ellos contempla una disminución de la superficie de cultivo sembrada, por lo que se recomienda que se lleve a cabo la tecnificación de los sistemas de riego ya que al mejorar las eficiencias de riego dicha disminución será menor a la necesaria mediante las eficiencias de riego actuales. Además, al reducirse el requerimiento de riego por hectárea se reducen los costos por consumo de energía.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

---

Para llevar a cabo una validación a futuro del modelo del acuífero de Caborca obtenido en el presente trabajo, se recomienda que se lleve a cabo un estudio completo de la caracterización de la zona, que contemple la medición de los gastos de extracción y la profundidad del nivel freático de cada uno de los pozos, así como la realización de pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidrogeológicos del acuífero.

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se recomienda tomar las medidas necesarias para garantizar la explotación del acuífero a largo plazo que eviten el continuo abatimiento del nivel freático, ya que de continuar con la explotación actual se pone en peligro la principal actividad económica de la zona, en este caso la explotación agrícola. Los tres escenarios presentados se consideran como alternativas de explotación del acuífero viables técnicamente, ya que garantizan la recuperación del almacenamiento en el mismo. Sin embargo, de acuerdo con los resultados el Escenario Dos y el Escenario Tres-Dos son los que más se recomiendan técnicamente. Cabe mencionar que para llevar a la práctica alguno de ellos se requiere considerar no sólo aspectos técnicos sino económicos, sociales y políticos.

Debido a que la ejecución de cualquier alternativa de explotación sustentable por el acuífero trae consigo una reducción de la superficie agrícola sembrada, se recomienda en primer lugar, que se lleve a cabo la tecnificación de los sistemas de riego, mediante la implementación de sistemas de riego tecnificado a las zonas que actualmente se riegan por gravedad, y que se revise continuamente el buen funcionamiento que los sistemas de riego. En segundo lugar, se recomienda que se considere la instalación de cultivos en invernaderos, con sistemas de riego hidropónicos, sin embargo, debido a que se requiere una inversión económica muy grande se podría planear su instalación a largo plazo, buscando cultivos altamente rentables económicamente. Finalmente, en tercer lugar, que se eliminen los cultivos de bajo rendimiento económico como lo es el sorgo y el nogal, así como los cultivos con un requerimiento de agua muy grande como lo es la alfalfa.

Los resultados obtenidos bajo cada uno de los escenarios muestran que a partir de año 2001-2002 se presenta intrusión salina en la parte Oeste del acuífero, por lo que se recomienda que se deje de extraer agua de los pozos cercanos al mar.

Se recomienda que se lleve a cabo un reglamento por parte de los agricultores así como de las dependencias gubernamentales competentes, en el cual se establezcan las políticas de explotación del acuífero, tomando de base los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Finalmente, se recomienda que se mida periódicamente la evolución del nivel freático de cada uno de los pozos, que se instalen medidores volumétricos a cada uno de ellos y que se realicen pruebas de bombeo para detallar las características hidráulicas del acuífero, con el propósito de que se cuente con más y mejor información que sirva para tomar medidas preventivas y correctivas y que sirva de base para otros estudios de éste acuífero.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson M. P. y Woessner W. W. 1992. APPLIED GROUNDWATER MODELING. Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, Inc. San Diego, California, U.S.A.
2. Aral M.M. 1989. GROUND WATER. Modeling in Multilayer Acuífers, Unsteady Flow. Lewis publishers, Michigan, USA.
3. Ariel Consultores, S.A. 1997. Estudio del Manejo de la Demanda para la Estabilización y Recuperación de los Acuíferos en la Región Lagunera, La Laja, Guanajuato y Caborca, Sonora. Ariel Consultores. Caborca, Sonora, Méx.
4. Bear J. 1978. Hydraulics of Groundwater. McGraw Hill. New York. U.S.A.
5. Castilla P. O. 1965. "Determinación práctica del uso consuntivo". *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. 19. Núm. 4. Méx.
6. CFE, 2004. <http://www.cfe.gob.mx/www2/ClientesCFE/otrosgiros/tarifas.htm?seccion=otros&tarifa=%>
7. CNA. 1994. PLANO. Distrito de Riego N 037 Altar- Pitiquito- Caborca. Pozos en Operación. Esc. 1:125000. Comisión Nacional del Agua. Sonora, Méx.
8. CNA. 1999. Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en los Distritos de Riego en el Año Agrícola 1997-1998. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
9. CNA. 2000. Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en los Distritos de Riego en el Año Agrícola 1998-1999. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
10. CNA. 2001. PLANO. Evolución del nivel estático 1993-2000 Acuífero Son-05 Caborca. Sin Escala. Gerencia Regional Noreste, Sonora, Méx.
11. CNA. 2001. Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en los Distritos de Riego. Año Agrícola 1999-2000. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
12. CNA. 2002. Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en los Distritos de Riego. Año Agrícola 2000-2001. Informe Estadístico 2. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
13. Crop Wat 4 Windows Versión 4.3. Copyright © 1990-1995 Microsoft Corp. División de desarrollo de Suelo y Agua de la Organización de la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO), Roma, Italia. Instituto de irrigación y estudio de desarrollo (IIDS) de la Universidad de Southampton, Southampton, UK. Centro Nacional de Investigación del Agua, Cairo, Egipto

14. Custodio E. y Llamas M. R. 1976. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España
15. Davis N. y DeWiest. 1971. Hidrogeología. Editores Ariel. Barcelona. España.
16. FAO, 1998. Crop Evapotranspiration–Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage, Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
17. Fetter C. W. 1994. Applied Hydrogeology. Third Edition. Prentice-Hall, Inc. U.S.A.
18. Freeze, R y Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice Hall. New Jersey. U.S.A.
19. García E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen Méx.
20. Gupta, R., 1994. “Unsteady drainage with variable drainage porosity”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 120, No. 4, pp.703-715. U.S.A.
21. Heath R. 1989. Basic Ground-Water Hydrology. Geological Survey, USGS Water Supply Paper 2220. U.S.A.
22. Healy R. W y Cook P. G. 2002. “Using groundwater levels to estimate recharge”. *Hydrogeology Journal*. Vol. 10, pp.91-109. U.S.A.
23. Hidrosistemas Universales S.A. de C.V. 1996. Estudio de la Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de la red de Observaciones en los Acuíferos de Cd. Juárez Delicias y Caborca. Comisión Nacional del Agua. Méx.
24. INEGI. 1993. Estudio Hidrológico del Estado de Sonora. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Méx.
25. IMTA.1997. Banco Nacional de Datos (BANDAS). Sistema de Información de Aguas Superficiales Versión 1.0. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, Méx.
26. IMTA. 1997a. Manual Para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, Méx
27. IMTA. 2000. Extractor Rápido de Información Climática (ERIC) 2. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, Méx.
28. IMTA. 2002. Tecnificación Integral del Dr. 037 Altar-Pitiquito-Caborca, para la Estabilización de su Acuífero. Comisión Nacional del Agua. Jiutepec, Morelos, Méx.
29. Kasenow M. 1997<sub>a</sub>. Applied Ground Water Hydrology and Well Hydraulics. Water Resources Publications, LLC. Colorado, U.S.A.
30. Kasenow M. 1997<sub>b</sub>. Introduction to Aquifer Analysis. 4ta. Edition. Water Resources Publications, LLC. U.S.A.

31. Kresic N. 1997. *Quantitative Solutions in Hydrogeology and Ground Water Modeling*. Lewis Publishers, New York. U.S.A.
32. Lapidus, L y Pinder F. G. 1982. *Numerical Solution of Partial Diferential Equations in Science and Engineering*. John Wiley & Sons Inc. U.S.A.
33. McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W., 1988, A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1. U.S.A.
34. Nachabe, M. H. 2002. "Analitical expressions for transient specific yield and shallow water table drainage". *Water Resources Research*. Vol. 38, No. 10, pp:11 (1-7), U.S.A.
35. Ojeda B. W. y Herrera P. J. C. 2000. *Uso Eficiente del Agua y la Energía en Sistemas de Bombeo*. 2da. Edición. Instituto mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, Méx.
36. Pandey, R. S., *et al.* 1992. "Drawdown solutions with variable drainable porosity". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 118, No. 3, pp.382-396. U.S.A.
37. Pinder F. G. 2002. *Ground Water Modeling Using Geographical Information Systems*. John Wiley & Sons Inc. U.S.A.
38. Pinder F. G. y Grey G. W. 1976. "Is there a difference in the finite element method?". *Water Resources Research*, Vol. 12. No. 1. pp.105-107. U.S.A.
39. Sanford W. 2002. "Recharge and groundwater models: an overview". *Hidrogeology Journal*. Vol. 10, pp.110-120, U.S.A.
40. Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1976. *Atlas de Agua de la República Mexicana*, Méx.
41. SEMARNAT-CNA. 1999. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 1997-1998*. Informe Estadístico. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
42. SEMARNAT-CNA. 2000. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 1998-1999*. Informe Estadístico 2. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
43. SEMARNAT-CNA. 2001. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 1999-2000*. Informe Estadístico 2. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
44. SEMARNAT-CNA. 2002. *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego Año Agrícola 2000-2001*. Informe Estadístico 1. Subdirección General de Operación. Gerencia de Distritos y Unidades de Riego. Méx.
45. SEMARNAT. 2003. *INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO, 2002*. Compendio de Estadísticas Ambientales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal, Méx.

46. Técnicas Modernas de Ingeniería S.A. 1975. Interpretación de Datos y Determinación del Potencial Actual del Acuífero en la Costa de Caborca, Sonora. Tomo 1. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Méx.
47. U. S. Department of the Interior (USDI). 1984. Drainage Manual. U. S. Government Printing Office, Denver Colorado, U.S.A.
48. Vries J. y Simmers I. 2002. "Groundwater recharge: an overview of processes y challenges". *Hydrogeology Journal*. Vol. 10. pp. 5-17, U.S.A.
49. Visual Fortran Versión 6.1, 1997, 1999, Copyright © Digital Equipment Corporation.
50. Zhu Ch. 2000. "Estimate of recharge from radiocarbon dating of groundwater and numerical flow and transport modeling". *Water Resources Research*, Vol. 36. No. 9. pp.2607-2620. U.S.A.

# X. ANEXOS

**ANEXO I**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS DE BOMBEO.**

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof. pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
4666.93	57967.11	1604	-236	14.80	52.48							8	1.280	1.143	1.950	1.344	0.453
4099.71	58842.28	1605	-250	12.82								8	1.994	1.780	1.467	1.409	0.769
5090.69	58148.02	1608	-237	16.50	45.75							8	2.103	1.878	1.688	2.198	1.756
5671.11	58004.56	1609	-232	17.94	45.72							8	0.113	0.101	1.611	1.980	1.601
5767.49	57514.92	1612	-228	19.22								8	0.390	0.348	0.133	0.046	0.000
7716.04	59609.38	1708	-235	23.85								8	1.820	1.625	1.670	1.739	1.679
7104.68	59620.22	1709	-239	22.29								8	0.226	0.201	0.642	0.414	0.000
10331.44	59995.90	1711	-224	29.06	74.7							8	0.717	0.640	0.525	0.618	0.326
6865.37	57983.28	1715	-226	20.75								8	0.054	0.048	0.000	0.000	0.000
7597.06	57205.17	1716	-218	24.02	65.3							8	0.640	0.571	1.019	0.922	0.717
8848.71	58813.18	1719	-225	25.90	45.72	25.68	26.8	26.15	26.63	27.02	27.16	8	0.927	0.828	0.183	0.415	0.255
9832.69	58795.93	1720	-220	26.87								8	0.495	0.442	0.415	0.390	0.369
10493.99	58906.36	1721	-215	27.65	73.15							8	0.826	0.738	0.000	0.000	0.000
8522.34	58730.21	1724	-225	20.75	53.34							8	0.888	0.793	0.496	0.066	0.000
12971.58	55679.20	1726	-99.8	38.50								8	0.357	0.319	0.565	0.771	0.568
9800.91	56977.91	1730	-203	29.65	76.2							8	0.981	0.876	0.681	0.614	0.388
10278.27	56947.40	1731	-200	29.75	67.06							8	0.386	0.344	0.000	0.000	0.000
6771.73	55401.20	1737	-205	22.71								8	1.897	1.694	1.792	1.902	1.003
5486.87	49291.84	3102	-173	25.50	91.44							8	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
3083.43	47028.43	3103	-136	12.75								8	0.765	0.683	0.739	0.603	0.540
2527.55	45943.15	3107	-99.5	12.75								8	1.387	1.238	0.638	0.423	0.028
4606.11	47205.81	3108	-184	20.00		13.11	12.75	14.14	13.47	14.25	14.4	8	1.004	0.897	0.614	0.700	0.839
6057.26	46941.91	3109	-210	24.75								8	1.275	1.138	0.537	0.747	0.719
10285.39	52966.41	3201	-99	35.44	91.44							8	0.045	0.040	0.027	0.120	0.611
13090.24	52607.47	3202	-97	44.03								8	0.901	0.805	0.296	0.067	0.702
10302.30	52289.70	3203	-99	35.75	48.5							8	0.878	0.784	0.000	0.000	0.000
13110.56	52119.23	3205	-98	42.72								8	0.611	0.546	0.865	0.229	1.956
11461.60	51870.40	3206	-99	39.72	60							8	0.517	0.461	1.206	0.064	0.038
12250.83	51612.83	3207	-98	38.39	50.3							8	0.638	0.570	0.982	0.292	0.019
12164.81	51059.88	3208	-99	41.22	50							8	0.334	0.298	0.490	0.011	0.423
7919.11	48361.63	3211	-208	27.67								8	1.460	1.303	1.495	1.470	1.172
9954.13	47671.77	3212	-230	32.67	36.59	29.96	31.6	33.14	32.55	34.27	34.4	8	1.011	0.903	0.826	0.603	0.488
11390.33	47746.67	3213	-235	39.62	121.95	38.64	40.15	40.47	39.65	39.68	40.93	8	1.223	1.092	0.791	1.063	0.759
13813.94	47949.03	3214	-250	46.63	79.27							8	1.193	1.066	1.028	0.707	0.549
6619.38	46809.96	3215	-215	26.62		18.45	20.06	22.05	21.54	22.8	22.9	8	2.387	2.132	0.997	0.668	0.502
9166.14	46920.40	3216	-241	31.75	64							8	1.062	0.948	1.413	1.301	0.966
13022.46	46975.67	3217	-270	42.75	60.96	40.95	42.55	44.73	44.18	45.7	45.8	8	0.773	0.690	0.781	0.603	0.569
13157.19	45343.37	3221	-295	42.97								8	0.190	0.169	0.069	0.000	0.000

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
14620.09	45285.20	3223	-260	45.50	60.98							8	0.727	0.650	0.525	0.066	0.011
14245.12	40667.74	4704	-240	44.25	76.2	48.79	48.73	49.17	48.32	48.7	48.8	8	1.612	1.440	0.754	0.372	0.191
9610.39	40015.52	4705	-99	36.83	59							8	0.887	0.792	0.443	0.329	0.362
10855.46	40049.38	4706	-99.5	36.83	54.86	39.25	40.06	40.17	40.25	40.66	40.76	8	0.976	0.872	0.566	0.624	0.295
7490.35	39220.94	4707	-98	42.00								8	1.346	1.202	1.141	1.406	1.245
9372.52	38999.51	4708	-98.5	44.90	60.96							8	0.656	0.586	0.000	0.000	0.369
10416.91	39047.91	4709	-98.5	33.75	60.96							8	0.899	0.803	0.715	0.196	1.048
11163.44	39035.01	4710	-98.5	39.75		37.79	38.39	39.43	39.62	40.48	40.58	8	0.475	0.424	0.016	0.000	0.090
14542.13	39553.88	4714	-230	44.90	60.96							8	1.875	1.674	0.369	0.532	0.318
6458.17	37697.80	4717	-98	45.75	60.96							8	2.141	1.912	0.718	0.528	0.493
13082.01	38137.22	4718	-101	33.07		42.69	43.59	43	43.4	43.2	43.84	8	0.569	0.508	0.000	0.000	0.000
7814.41	36409.82	4720	-97	24.85	45.72							8	0.493	0.440	0.006	0.379	0.103
10002.51	36682.15	4722	-97.5	33.75	60.96	32.83	33.41	34.05	34.39	34.51	34.69	8	0.492	0.440	0.000	0.000	0.000
6396.10	34183.78	4723	-99.5	23.90								8	0.032	0.029	0.593	0.590	0.516
12287.12	33648.95	4724	-97	41.30	60.9							8	0.750	0.670	1.060	1.688	0.000
11148.54	38170.37	4725	-98.5	38.20	60.96							8	1.010	0.902	0.061	0.000	0.000
12509.41	37126.87	4727	-99	41.53		37.79	38.45	39.39	40.05	40.71	40.81	8	1.199	1.071	1.060	0.589	0.366
11235.60	32657.94	6201	-97.5	36.43	60.96	35.63	37.5	38.49	38.84	39.25	38.32	8	1.981	1.769	1.158	1.250	0.000
14729.69	33086.31	6202	-99	45.75	82	39.62	41.5	43	43.49	44.26	45.11	8	0.591	0.528	0.344	0.319	0.279
10591.29	32513.81	6203	-98	33.07	60.96	32.02	33.47	34.13	34.11	33.4	32.86	8	1.555	1.388	1.251	1.049	0.000
13080.53	32992.29	6204	-97	43.75	60.96							8	0.392	0.350	0.162	0.000	0.000
7106.32	32629.94	6205	-99.5	24.85		21.38	22.55	23.29	23.54	23.62	23.8	8	1.456	1.300	1.239	1.228	0.975
8856.09	31889.66	6206	-98.8	27.08	100	28.98	30.54	31.04	30.71	31	30.77	8	2.303	2.057	1.447	1.436	0.000
9400.42	31237.07	6207	-99	28.37	33.55	23.09	24.55	25.09	25.37	25.92	25.83	8	1.720	1.536	0.736	0.432	0.000
9206.69	30564.04	6208	-99.3	29.92		19.81	21.43	21.7	22.65	23.55	24.44	8	1.761	1.573	0.729	0.226	0.000
11285.92	29452.56	6211	-99.3	35.30		35	35.46	37.36	37.65	37	36.84	8	0.732	0.653	0.936	0.382	0.331
10523.24	28567.53	6214	-100	31.66	57							8	0.410	0.366	0.908	0.220	0.007
13106.32	28312.64	6216	-99.3	39.75	83.3	31.85	33.8	35.01	36.15	36.82	37.56	8	0.565	0.504	0.430	0.616	0.300
11361.05	27688.24	6219	-104	32.93	76.2	29.9	31.27	32.75	35.15	33.87	34.1	8	1.024	0.915	1.506	1.143	0.858
10443.63	26728.24	6222	-138	29.97	57.5							8	2.241	2.001	1.701	1.575	1.459
10291.32	25677.48	6226	-162	28.68	76.2	26.73	26.79	25.74	25.38	24.9	25.65	8	2.366	2.113	2.068	1.596	1.015
11499.56	30735.13	6231	-98.5	36.17	82.29							8	0.374	0.334	0.229	0.034	0.000
7411.39	28721.41	6233	-225	22.75	75.4	15.85	17.93	17.09	18.21	18.5	18.95	8	1.876	1.675	1.125	0.652	0.147
12401.22	27426.51	6236	-100	35.93	83.3	30.21	31.67	32.43	33.8	34.12	34.61	8	0.580	0.518	0.681	1.094	0.689
12484.83	32326.07	6237	-97	40.75	45.72	37.3	36.3	37.09	38.25	38.54	38.12	8	1.787	1.596	1.199	0.775	0.624
12250.35	31498.45	6238	-98	40.46	70.10							8	0.998	0.891	0.615	0.693	0.455
14329.89	29833.16	6239	-99	44.41								8	0.666	0.595	0.449	0.361	0.741
15742.96	43644.36	3226	-250	48.30								7	0.953	0.851	0.967	0.495	0.573
16448.00	43970.00	3318	-215	50.50								7	0.317	0.283	0.479	0.355	0.068
18657.70	43554.30	3320	-210	58.75	121.95							7	0.576	0.515	0.526	0.677	0.544
20651.53	43765.39	3321	-233	62.37	76.20							7	0.731	0.653	0.379	0.328	0.303
21416.83	43752.88	3322	-240	63.30	76.20							7	0.888	0.793	0.879	0.675	0.593

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
16981.52	43460.23	3325	-225	51.66	121.95							7	0.923	0.824	0.768	0.547	0.504
20511.60	43401.78	3326	-235	62.20	76.22							7	1.031	0.920	0.946	0.730	0.268
21335.41	43454.83	3327	-242	63.42	76.20							7	0.523	0.467	0.581	0.000	0.000
16090.95	42854.22	4701	-270	48.75	116.00	47.16	48.73	50.71	51.12	49.46	51.1	7	1.318	1.177	0.693	0.000	0.000
15881.52	41782.19	4702	-296	48.78	91.44							7	0.909	0.811	0.842	0.106	0.010
15317.21	41237.28	4703	-295	46.65	66.00							7	0.920	0.822	0.618	0.125	0.075
25407.78	42003.22	4801	-285	73.75	76.20	79.92	80.93	82.46	84.65	86.45	86.6	7	0.979	0.875	1.508	2.099	1.734
17470.85	42964.18	4802	-235	53.37	60.96	57.78	58.67	60.07	60.37	59.05	59.15	7	0.606	0.541	0.689	0.619	0.416
19827.62	41960.49	4803	-240	53.98	152.44							7	2.116	1.890	2.257	1.676	1.508
20669.59	41946.68	4804	-248	62.61	60.98	66.72	67.35	68.79	70.45	69.25	70.4	7	0.486	0.434	0.207	0.189	0.194
20198.29	42386.83	4805	-238	61.33	73.20	69.85	70.18	70.53	71.85	72.21	72.5	7	0.929	0.829	0.648	0.520	0.316
23790.19	42583.49	4806	-283	68.75	113.99	74.93	76.5	77.39	78.45	80.46	80.56	7	0.697	0.622	0.739	0.700	0.697
17517.35	42309.21	4807	-240	53.65	66.00	58.72	59.7	60.57	59.37	58.2	58.3	7	0.849	0.758	1.271	1.095	0.998
21547.85	41810.37	4809	-255	63.27								7	1.331	1.188	1.147	1.047	0.788
23010.85	41731.21	4810	-280	67.17	42.50							7	0.936	0.836	0.776	0.551	0.000
23812.83	42206.14	4811	-290	69.50	60.96							7	0.376	0.336	0.000	0.000	0.105
18489.59	41494.71	4812	-247	57.85	91.44	60.82	61.97	63.87	63.95	63.2	63.3	7	1.369	1.223	0.208	0.380	0.427
23405.74	41292.42	4813	-290	68.86	91.44	82.05	83.67	85.57	86.15	86.4	88.9	7	1.139	1.017	0.653	0.946	0.888
26061.97	41615.84	4814	-260	76.75	91.44	83.16	84.67	86.57	87.75	88.8	92.04	7	1.634	1.459	1.708	1.158	0.680
18796.18	40935.24	4815	-250	59.03		61.25	62.82	63.54	64.4	65	65.1	7	2.052	1.832	1.469	0.219	0.000
16733.42	40071.42	4817	-300	50.55		56.1	56.46	57.56	56.07	57.12	57.2	7	2.103	1.878	1.668	0.737	1.384
19994.29	41037.46	4818	-248	60.50								7	0.623	0.556	0.000	0.000	0.701
16858.13	39514.93	4819	-295	52.15	60.96							7	0.063	0.057	0.113	0.026	0.000
17443.02	39571.70	4820	-290	54.70	76.20	57.76	59.33	60.13	60.59	59.88	60.2	7	0.976	0.872	1.177	1.140	0.773
19095.12	39910.21	4821	-260	57.43	60.96							7	0.737	0.658	1.357	2.102	1.287
24313.62	40013.84	4822	-290	70.98	72.41							7	1.514	1.352	1.188	0.958	0.524
17465.64	39205.42	4823	-295	53.98	76.20							7	0.916	0.818	0.629	0.457	0.498
18629.57	38964.34	4824	-275	59.25	64.00							7	0.830	0.741	0.258	0.408	0.707
17028.24	43392.92	4825	-230	51.95	72.50							7	0.993	0.887	0.316	0.272	0.406
18006.93	38364.82	4826	-295	57.06	60.96							7	0.913	0.815	0.947	0.709	0.593
19265.52	35727.26	4827	-295	60.20	82.29							7	0.611	0.545	0.435	0.491	0.409
20141.20	35402.43	4828	-285	62.25	82.59							7	1.283	1.145	1.274	1.028	1.101
19707.76	34666.65	4830	-300	60.99	60.96							7	0.488	0.436	0.559	0.637	0.571
25852.29	35033.21	4831	-180	74.58								7	2.563	2.289	2.070	1.734	2.315
24539.45	34377.76	4832	-226	70.26	86.39							7	0.842	0.752	1.983	1.632	1.403
16681.17	41524.84	4833	-280	50.19		53.19	54.76	55.87	56.2	56.6	58.95	7	1.594	1.423	1.164	0.979	1.700
22848.22	36400.66	4835	-298	67.97	152.40	63.74	64.97	66.87	69.15	70.15	70.25	7	1.222	1.091	0.722	0.624	0.670
24002.24	35517.27	4836	-265	67.97	35.00							7	1.403	1.253	1.598	1.173	0.878
22602.00	41305.39	4839	-275	66.38	96.34							7	0.794	0.709	0.738	0.914	0.828
21084.84	36307.29	4841	-275	64.58								7	1.262	1.127	0.911	0.561	0.568
25098.77	42429.47	4842	-292	72.75								7	1.677	1.498	0.688	0.538	0.276
26027.10	33977.14	4843	-265	72.50								7	1.930	1.723	2.047	1.294	1.243

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático					Zona	Gastos de extracción					
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)		2001 (m)	1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
23583.36	36266.86	4844	-280	69.55							7	2.606	2.327	1.634	1.565	1.117	
27814.81	41100.33	4905	-202	81.75	91.44	86.69	88.32	89.18	91.15	92.3	91.1	7	1.174	1.048	1.597	1.895	0.652
31186.50	39418.12	4907	-138	90.45	90.66							7	1.041	0.929	0.000	0.000	0.000
26852.79	39574.32	4908	-205	78.95	60.96	83.92	85.53	87.43	89.59	90.5	91.7	7	0.920	0.822	0.809	1.093	0.945
30257.21	39365.92	4909	-145	87.75	60.96	79.36	81.02	80.99	83.35	84.8	84.9	7	0.538	0.480	0.000	0.000	0.000
28876.70	38001.44	4911	-150	87.10	43.00	87.61	89.34	90.94	92.85	94.81	95	7	0.912	0.814	0.194	0.209	0.323
31550.71	38824.91	4912	-123	89.65								7	0.117	0.104	0.000	1.428	1.447
28150.72	42381.20	4915	-224	82.40	91.44							7	0.673	0.601	0.892	0.579	0.711
33364.16	35315.93	4917	1	109.05								7	0.807	0.720	0.299	0.254	0.127
28164.30	34686.38	4918	-120	79.90	31.60							7	1.631	1.457	0.542	0.005	0.000
32626.72	35936.92	4919	-25	102.75	121.00							7	0.284	0.254	0.072	0.000	0.000
31647.38	34510.55	4920	-20	103.45	137.20	65.16	66.95	68.44	70.75	72.2	72.3	7	2.703	2.414	1.395	1.403	0.940
28239.02	39463.84	4921	-184	82.35								7	1.241	1.108	1.708	1.462	0.871
27359.47	39533.08	4922	-198	80.30	60.96	86.43	88.5	90.4	92.7	92.8	95.55	7	1.494	1.334	1.094	0.790	0.846
29924.76	38295.61	4925	-135	85.45	54.00							7	0.077	0.068	0.166	0.295	0.171
29790.76	38297.68	4927	-135	85.15	46.00							7	1.037	0.926	1.243	0.165	0.000
27104.00	41543.92	4928	-229	80.00	106.68							7	1.593	1.423	1.114	0.539	0.986
27096.14	41045.11	4929	-225	79.65	76.20							7	1.680	1.500	1.692	0.395	0.618
28663.45	40898.56	4939	-193	84.05								7	1.286	1.148	0.911	1.103	0.847
27722.10	41900.08	4943	-223	80.55								7	0.669	0.597	1.379	0.538	0.957
28474.60	37386.83	4944	-150	81.95								7	1.751	1.564	1.582	1.613	1.939
31717.65	39099.53	4946	-125	90.85								7	0.000	0.000	1.302	1.683	1.921
28880.90	36426.99	4947	-127	80.45								7	0.520	0.465	0.432	0.189	0.243
28500.00	40500.00	4948	-188	84.50								7	0.669	0.597	0.796	0.610	0.577
27500.00	40500.00	4949	-205	80.50								7	0.374	0.334	0.693	0.541	0.926
27800.00	36400.00	4953	-150	78.50								7	1.283	1.146	1.934	1.282	0.916
22410.22	32405.10	6301	-290	61.32	60.96							7	1.151	1.028	0.998	0.530	0.329
23709.22	32173.54	6302	-300	64.18	76.20	62.38	64.43	65.54	66.55	67.04	68.23	7	1.264	1.129	1.251	0.902	0.855
23913.51	31771.11	6303	-300	65.17	60.98	60.94	62.47	62.92	63.85	64.75	66.12	7	1.027	0.917	0.898	0.636	0.540
22952.26	31564.79	6305	-295	61.62		60.7	60.53	61.71	63.95	63.48	64.55	7	0.616	0.550	0.851	0.465	0.492
21682.75	30665.03	6307	-292	60.21		54.74	56.82	58.48	60.75	62.6	60.66	7	0.814	0.727	0.126	0.186	0.306
25033.06	30489.29	6308	-220	68.75	79.24	59.26	60.72	61.5	63.25	63.9	65.3	7	0.034	0.030	0.035	0.000	0.000
20107.40	29825.84	6310	-242	55.08	76.25							7	1.776	1.586	1.729	1.210	1.104
21592.10	29801.67	6311	-273	59.75	46.00							7	0.762	0.680	0.811	0.467	0.341
25721.22	26753.03	6314	-130	72.35	54.86	50.15	51.74	52.84	54.35	55.56	56.84	7	1.038	0.927	0.827	0.525	0.804
25671.80	30290.67	6315	-170	70.08	76.20							7	0.025	0.023	0.000	0.000	0.000
20005.52	30625.82	6320	-245	58.25		50.24	50.45	51.36	53.75	54.1	55.43	7	1.375	1.227	0.902	0.761	0.742
19723.27	30940.90	6323	-250	57.54								7	0.424	0.378	0.669	0.253	0.538
24408.44	29168.74	6325	-235	64.61	91.44							7	0.163	0.145	0.166	0.039	0.000
22556.90	26648.30	6327	-233	57.48	138.68							7	1.195	1.067	1.112	0.883	0.546
22961.04	25555.23	6335	-210	57.90	60.76	37	37.16	37.44	38.5	39.2	40.13	7	0.602	0.538	1.205	0.918	0.870
20744.66	30125.90	6343	-260	56.75								7	0.655	0.585	1.193	1.227	0.738

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
24188.90	27420.43	6344	-210	64.13	62.50	44.87	46.43	45.9	46.6	47.6	48.3	7	1.422	1.270	0.000	0.000	0.000
19800.00	28800.00	6345	-220	53.00								7	0.253	0.226	0.435	0.235	0.246
27070.03	32696.73	6402	-128	77.55	67.07							7	0.000	0.000	0.000		
26329.07	33085.37	6403	-160	75.05	60.96							7	1.404	1.254	1.001	0.982	0.941
26445.64	31974.80	6404	-145	75.45	60.96	66.45	66.73	67.51	68.29	70.23	72.14	7	0.921	0.822	0.802	0.659	0.000
27296.03	31839.46	6406	-107	79.00	67.07							7	0.000	0.000	0.130	0.825	0.780
18940.54	55990.47	1801	-99	52.60	54.86	29.92	31.49	33.16	33.57	34.1	34.26	6	0.486	0.434	0.643	0.599	0.485
19281.59	55807.40	1802	-99.3	54.25	60.96							6	1.167	1.042	1.104	0.981	1.079
19270.38	55131.21	1804	-100	54.75	56.71							6	0.947	0.845	0.684	0.614	0.269
21345.50	55185.71	1806	-180	59.75		34.54	35.79	37.69	37.83	38.37	38.49	6	0.711	0.635	0.826	0.320	0.183
15576.04	45235.77	3219	-220	48.68								6	0.000	0.000	1.259	1.205	0.980
15775.53	46285.79	3220	-235	50.75								6	0.325	0.290	1.415	1.830	1.645
18444.03	50277.22	3301	-255	56.67	76.20							6	1.184	1.057	1.177	1.019	0.816
18452.14	50764.97	3302	-225	59.55	76.20							6	1.175	1.050	1.014	1.039	0.669
20157.85	50980.68	3303	-250	59.55		41.43	42.25	43.87	45.46	45.7	46.22	6	0.432	0.386	0.410	0.138	0.000
23869.93	47538.41	3305	-225	67.61	88.39							6	0.715	0.639	0.438	1.715	1.066
24751.65	47646.21	3306	-234	68.67								6	0.639	0.571	0.926	1.169	0.874
21792.13	48581.07	3307	-198	62.71	192.31							6	0.891	0.796	0.545	0.866	0.438
18954.97	44170.31	3308	-206	62.71		63.25	65.32	66.49	66.17	68.2	68.6	6	0.676	0.603	0.117	0.090	0.019
26332.06	48386.05	3308a	-240	71.00								6	0.000	0.000	0.117	0.090	0.020
24442.49	48050.33	3309	-225	67.95								6	0.946	0.845	0.397	0.460	0.734
21448.48	45692.74	3310	-223	62.65	91.44	63.26	64.83	65.81	68.37	70.04	70.55	6	1.006	0.898	0.963	0.511	0.556
24236.82	47155.53	3311	-234	68.90	106.68							6	0.759	0.678	1.934	2.182	1.596
22498.02	46108.08	3312	-227	64.97								6	1.436	1.282	1.833	1.749	1.443
17575.94	45823.16	3313	-198	54.69	83.34	56.15	57.13	58.26	58.87	59.38	59.48	6	1.409	1.258	1.305	0.883	0.908
19617.08	45445.58	3314	-199	59.68	76.20	61.46	62.4	63.42	64.17	63.6	63.7	6	0.719	0.642	0.971	0.805	0.602
21606.19	45390.79	3315	-225	63.18	76.22							6	1.441	1.287	1.371	1.186	0.851
24064.98	44796.60	3316	-262	69.75	91.44							6	1.524	1.361	1.281	0.957	0.919
18672.03	44418.93	3317	-202	58.89	37.66							6	1.229	1.098	1.316	0.932	0.477
18157.86	43995.03	3319	-204	56.75	37.66							6	0.637	0.569	0.486	0.532	0.744
22591.50	43611.82	3323	-258	66.31	91.44							6	1.404	1.254	1.255	0.726	0.600
24887.76	44195.77	3324	-280	71.98	46.20							6	1.477	1.319	0.985	1.079	0.490
23697.26	43350.03	3328	-275	68.50	67.05							6	1.069	0.954	1.128	0.709	0.585
26230.74	46824.31	3331	-260	74.44								6	0.600	0.536	0.157	0.266	0.271
25327.75	45386.21	3332	-270	73.27	60.96							6	1.096	0.979	1.380	1.385	1.036
20894.27	47486.95	3333	-198	60.33								6	1.001	0.894	1.017	1.149	0.896
21362.55	45117.57	3334	-220	62.75								6	0.524	0.468	0.396	0.362	0.333
25967.70	45320.58	3335	-280	75.30		74.62	75.2	76.59	78.47	80	81	6	1.424	1.272	1.048	1.239	1.123
19202.43	46406.00	3336	-198	57.50								6	0.065	0.058	0.157	0.666	0.644
21400.00	46900.00	3337	-210	61.00								6	0.000	0.000	0.231	0.264	0.190
26768.41	49365.93	3402	-238	75.42	91.44	58.66	60.32	61.9	62.8	64.15	64.22	6	0.868	0.775	0.759	0.686	0.439
26759.10	48778.44	3404	-240	74.85	91.44	62.59	62.65	63.79	65.05	66.17	66.3	6	1.376	1.229	1.300	1.324	0.685

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
30779.20	48992.70	3405	-290	89.77	76.20							6	0.756	0.675	0.586	0.896	0.769
29453.30	47960.72	3406	-290	83.09	106.71							6	0.826	0.738	1.191	1.280	1.380
27615.54	47290.26	3407	-275	74.21	91.44	65.38	66.95	67.84	69.51	71.23	71.3	6	0.820	0.732	0.658	0.903	0.588
30357.19	47679.84	3408	-290	86.98	76.20	66.7	66.2	67.99	69.45	70.8	71.1	6	1.280	1.143	0.822	0.798	0.511
30060.68	47063.55	3410	-283	85.83								6	0.000	0.000	0.850	1.019	1.131
30555.73	46911.74	3411	-270	87.87	91.44							6	0.784	0.700	0.594	0.618	0.489
32374.84	47648.76	3412	-226	94.35	106.68	64.83	66.4	67.43	68.84	70.35	70.45	6	1.152	1.029	0.626	0.851	0.312
34086.98	46392.02	3413	-185	101.51	60.96	64.98	65.92	67.09	68.47	70.36	70.46	6	0.624	0.557	0.459	0.392	0.172
31862.46	46669.85	3414	-232	92.83	83.82	65.48	67.05	68.71	70.03	71.55	72.36	6	1.532	1.368	0.934	0.968	0.899
28792.17	46074.35	3415	-300	82.71		72.77	73.3	74.79	76.14	78.15	78.25	6	0.888	0.793	0.583	0.865	0.682
31769.24	46205.62	3416	-225	92.55	76.20	66.55	66.7	67.24	68.38	70.22	71.32	6	0.019	0.017	0.000	0.000	0.128
33834.29	45497.80	3417	-180	100.39	64.90	62.03	61.6	62.29	64.23	66.2	67.1	6	0.426	0.380	0.343	0.456	0.260
29711.76	45538.91	3418	-260	87.11								6	1.327	1.185	0.177	0.019	0.016
32606.45	47157.38	3419	-218	95.55	76.20	63.25	64.82	65.87	67.22	67.77	69.02	6	0.593	0.530	0.837	1.038	0.755
33750.38	45011.24	3420	-180	99.18	60.96							6	0.515	0.460	0.591	0.552	0.418
28238.52	44320.12	3422	-270	82.75								6	0.589	0.526	0.000	0.000	0.000
33501.84	44394.13	3423	-175	99.75	130.15	78.73	80.3	79.69	81.35	83	85.26	6	1.037	0.926	0.805	0.763	0.596
27817.31	44914.37	3424	-300	81.60	83.00	81.16	82.25	83.14	84.79	86.22	86.93	6	0.000	0.000	0.412	0.592	0.193
32883.58	44004.40	3425	-176	98.20	76.20	78.44	80.01	81.64	83.73	84.88	84.98	6	0.731	0.653	1.122	0.835	0.700
33436.53	43874.03	3426	-170	99.30	60.96	79.03	80.6	81.77	83.31	83.72	88.02	6	1.426	1.273	1.328	1.291	0.975
27255.72	44490.80	3427	-290	79.75	89.00							6	0.670	0.598	1.075	1.496	0.947
33214.58	46893.10	3432	-200	97.75	76.22							6	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
36131.72	46239.30	3433	-164	115.18	98.00							6	0.672	0.600	0.644	0.583	0.811
28417.49	44139.92	3435	-265	83.28	76.20							6	0.863	0.771	1.456	1.273	1.201
26695.84	47803.73	3437	-250	74.25								6	1.784	1.593	0.788	0.899	0.006
33160.26	43323.87	3438	-167	97.80								6	0.527	0.471	1.098	1.184	1.072
35180.00	48482.65	3439	-155	114.40								6	0.234	0.209	0.612	0.250	0.184
27601.92	46425.65	3440	-285	76.25		71.91	72.25	73.11	74.98	76.1	76.2	6	0.568	0.507	0.462	0.219	0.000
34253.91	48573.66	3442	-185	107.14								6	0.000	0.000	1.156	0.778	0.448
29395.10	45743.26	3443	-278	84.75								6	1.621	1.448	1.469	1.954	1.145
30403.61	45117.95	3444	-250	90.00		81.13	82.7	83.89	85.88	87.25	88.04	6	0.000	0.000	0.251	0.350	0.271
29317.51	44181.30	3445	-245	86.75								6	0.748	0.668	0.000	0.000	0.000
31639.57	47726.57	3446	-250	91.38		63.43	65	65.73	67.99	69.6	69.7	6	1.334	1.191	1.076	1.003	0.673
27274.26	45665.78	3447	-290	79.25								6	1.020	0.911	1.140	0.924	0.835
28111.22	43523.82	3450	-250	82.30								6	0.000	0.000	0.354	0.842	1.065
30977.00	46317.60	3451	-250	89.57								6	0.593	0.530	0.385	0.927	0.456
34900.00	46290.00	3452	-170	106.50								6	0.338	0.302	0.000	0.599	0.775
28957.24	41326.38	4901	-193	85.40	91.44	90.18	91.75	93.26	94.65	96.6	99.05	6	0.129	0.115	0.208	0.542	0.166
32771.64	42309.77	4903	-150	96.25	76.20							6	0.910	0.813	0.719	0.534	0.251
34214.00	41164.00	4906	-120	97.50								6	2.429	2.169	2.314	1.358	1.070
29335.63	36730.36	4913	-120	81.35								6	1.720	1.536	1.160	1.067	0.786
30223.01	42105.00	4940	-182	90.40								6	1.214	1.084	0.000	0.000	0.613

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
27113.61	42153.58	4941	-235	78.93								6	1.120	1.000	0.946	0.366	0.479
27279.79	42982.52	4942	-255	80.10								6	1.532	1.368	0.651	0.574	0.503
45144.21	48414.38	3502	-18	167.35	91.44	73.48	75.05	75.24	77.12	77.1	77.3	5	1.050	0.938	0.748	1.095	0.299
43338.44	45180.57	3503	-70	151.68		72.63	73.99	75.89	76.37	76.55	76.65	5	1.209	1.080	1.489	1.324	1.218
44799.53	47033.43	3504	-34	162.65	91.44							5	1.126	1.006	0.981	0.572	0.486
41914.80	43970.36	3505	-103	137.79	76.20							5	0.715	0.638	0.656	0.243	0.340
39520.24	43783.36	3506	-142	124.75								5	1.754	1.566	1.645	2.350	1.590
41906.34	43382.89	3507	-118	137.11	76.20	67.26	67.4	69.34	69.61	70.6	71.18	5	1.258	1.124	0.675	0.270	0.513
40549.00	43659.00	3510	-128	129.50								5	0.662	0.591	0.669	0.782	0.511
42868.15	43734.95	3508	-103	142.05	76.20	66.77	68.4	69.84	71.45	73.01	73.13	5	0.797	0.712	0.656	1.193	0.648
38527.81	43310.10	3511	-140	116.03	76.00							5	1.342	1.199	1.510	0.679	1.311
42939.92	43401.32	3512	-110	140.52	76.20							5	0.834	0.745	1.000	0.781	0.333
44134.21	43284.54	3513	-113	144.83	76.20							5	0.308	0.275	0.575	0.549	0.430
39727.25	44855.75	3514	-130	130.15	82.00							5	1.279	1.142	1.501	0.784	1.078
45357.71	45240.64	3515	-80	161.75								5	0.557	0.498	1.494	1.432	0.926
44516.85	43955.39	3516	-103	154.75		69.58	71.65	73.15	73.54	74.21	74.31	5	0.988	0.882	0.294	0.722	0.792
45458.13	44219.27	3517	-108	159.75								5	1.452	1.297	0.531	0.514	0.794
43891.99	46436.55	3519	-42	157.65	91.44							5	0.655	0.584	0.000	0.000	0.596
39365.10	45603.86	3520	-118	130.53		69.81	71.6	72.69	72.68	74.43	74.53	5	0.621	0.554	0.450	0.533	0.447
40470.55	48603.33	3522	-60	138.19		67.03	68.6	68.64	67.79	67.92	68.17	5	0.333	0.297	0.433	0.144	0.063
39425.09	46434.49	3523	-100	131.75								5	1.289	1.151	0.822	1.186	0.851
40893.98	48785.65	3524	-54	143.69								5	0.512	0.457	0.650	0.316	0.258
38555.37	45183.36	3525	-140	127.59								5	0.392	0.350	0.401	0.289	0.057
37579.00	45142.34	3526	-155	123.18								5	0.420	0.375	0.537	0.379	0.334
46200.00	44500.00	3528	-108	164.50								5			1.683	1.545	1.398
46200.00	46300.00	3529	-50	169.50								5	0.216	0.193	0.000	0.000	0.000
49467.50	48476.18	3601	7	197.95								5	0.605	0.540	0.000	0.000	0.000
50383.34	49017.97	3602	16	201.64		109.35	109.5	110.69	110.57	111.43	111.66	5	0.635	0.567	0.005	0.000	0.000
52435.69	45908.26	3604	-50	209.75		121.06	122.6	123.66	122.24	122.44	122.54	5	0.108	0.096	0.000	0.000	0.000
53485.83	45040.60	3605	5	213.75								5	1.296	1.158			
54312.17	44597.28	3607	25	216.61								5	0.287	0.256	0.493	0.336	0.293
50484.19	43074.41	3608	-108	186.75								5	1.272	1.136	1.437	1.413	0.550
61198.11	42967.44	3701	101	236.75		110.93	112.63	113.76	113.24	113.9	114.04	5	0.609	0.544	0.540	0.400	0.461
60002.00	42949.30	3702	100	235.85								5	0.810	0.723		0.808	0.000
62077.44	43665.88	3705	103	244.58		96.56	98.1	99.29	101.99	103.65	103.75	5	1.892	1.689	1.728	1.872	1.134
62459.31	44370.58	3706	102	249.25		90.14	91.65	93.18	94.32	95.2	95.31	5	0.926	0.827	0.805	0.600	0.729
62473.84	45534.38	3707	101	257.53								5	0.505	0.451	0.609	0.464	0.535
41314.82	42837.09	5002	-123	129.50	76.20							5	1.278	1.141	1.216	1.268	0.827
42804.46	42627.20	5003	-119	136.60	76.20							5	0.942	0.841	1.057	0.795	1.015
36629.13	42384.72	5004	-128	110.29	68.00							5	0.233	0.208	0.326	0.212	0.132
42234.31	42236.26	5005	-116	133.25	106.68							5	1.375	1.228	1.083	1.122	1.058
41500.00	42245.21	5010	-118	125.50	48.76							5	1.057	0.944	1.178	0.385	0.556

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
43956.30	41535.40	5017	-110	140.75	91.44							5	0.731	0.653	1.220	0.141	0.000
45978.42	41750.79	5018	-118	152.75								5	0.000	0.000	0.000	1.337	1.351
43771.89	42025.83	5019	-120	140.80								5	0.534	0.477	0.757	0.063	0.000
38378.88	42292.30	5020	-120	115.75								5	0.515	0.460	0.276	0.079	0.000
46250.64	42057.40	5024	-119	154.65		72.15	73.72	75.62	76.75	77.3	78.24	5	1.049	0.936	1.904	1.042	1.618
51649.42	36528.98	5101	-48	167.55	76.20							5	1.137	1.016	0.755	0.547	0.700
47924.39	36457.78	5102	-72	140.35	45.72							5	0.822	0.734	0.850	0.835	0.630
48714.58	36136.49	5103	-70	146.86	54.86	51.68	52.6	53.49	54.85	56.73	58.74	5	1.017	0.908	0.800	0.930	0.770
53724.44	34904.91	5107	-65	172.05	150.00							5	0.772	0.689	1.019	1.071	0.610
52720.90	35040.20	5112	-70	167.85								5	0.629	0.562	0.667	0.557	0.486
52277.68	41974.84	5113	-22	190.00								5	1.348	1.203	1.018	0.835	0.492
46727.28	41928.80	5114	-116	156.75								5	1.820	1.625	2.144	2.036	1.320
53513.21	37025.11	5117	-30	176.10								5	1.021	0.912	1.441	1.395	0.728
54681.99	36366.68	5118	-57	179.65								5	0.842	0.752	1.232	1.205	1.181
55896.94	34100.36	5119	-25	179.35		89.74	91.33	92.97	94.58	96.3	98.61	5	0.769	0.687	0.910	1.207	0.919
55941.19	37492.01	5120	-22	195.95								5	0.876	0.782	0.606	0.658	0.756
55154.27	34420.47	5123	-45	177.25		86.64	88.13	89.59	91.94	93.67	95.59	5	0.250	0.223	1.060	1.116	0.969
50749.64	35122.11	5124	-70	157.50		57.31	58.5	57.19	58.53	59.82	62.02	5	1.024	0.914	0.933	1.265	0.922
54504.66	35260.44	5125	-65	176.30		85.77	87.8	89.39	90.65	91.71	93.42	5	1.927	1.720	0.822	1.681	0.846
53396.46	38323.71	5126	10	179.55								5	0.477	0.426	0.380	0.558	0.748
55189.00	35602.00	5128	-65	179.50								5	0.867	0.774	1.581	2.103	1.967
55152.00	39342.00	5129	40	194.50								5	1.487	1.328	2.023	1.645	1.413
54250.00	38800.00	5130	25	187.50								5			1.468	1.479	1.086
57515.73	33403.14	5201	4	180.75	60.96							5	0.584	0.521		1.019	0.851
58383.00	33081.61	5202	9	183.90	99.06							5	0.446	0.398		1.132	1.206
63000.20	42479.32	5204	103.5	240.95								5	0.698	0.623	0.656	0.459	0.000
59248.10	42349.19	5205	100	229.50								5	0.645	0.576	0.861	0.431	0.420
58669.71	36780.52	5206	-18	202.35								5	2.554	2.281	1.907	0.470	0.911
57748.88	37379.88	5207	-18	201.00		108.63	110.61	111.9	113.48	114.42	115.05	5	2.309	2.062	2.168	2.266	1.977
59250.08	38003.61	5209	18	206.65								5	1.837	1.640	1.648	1.533	1.665
60815.26	42196.27	5210	101	235.67								5	0.767	0.685	0.891	0.885	0.681
62154.66	34519.41	5211	0	200.10								5	0.877	0.783	0.786	0.713	0.716
59610.92	33254.41	5212	8	188.90								5	0.854	0.763	0.368	0.274	0.977
59306.97	38712.36	5213	40	208.60		113.83	115.9	117.14	119.58	121.29	123.07	5	0.721	0.644	1.580	1.118	1.022
58640.50	34497.26	5214	-30	190.70								5	0.623	0.556	0.565	0.544	0.539
57762.73	38455.01	5215	30	204.85								5	2.575	2.299	2.370	2.442	2.250
61094.28	34710.05	5216	-12	196.85								5	1.141	1.019	1.263	0.853	0.666
57713.60	39098.61	5217	50	206.70								5	1.646	1.470	2.146	1.651	1.237
63420.86	40135.08	5218	100	231.55								5	0.618	0.552	0.822	0.737	0.597
59637.09	35315.98	5219	-54	198.65								5	0.566	0.506	0.359	0.384	0.329
59661.02	37200.22	5220	0	205.00		111.54	113.13	115.03	117.72	119.02	121.14	5	1.309	1.169	1.331	1.091	0.547
57365.17	36575.58	5221	-50	196.55								5	1.920	1.715	2.253	1.796	1.363

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
61167.84	40562.26	5222	95	226.25								5	1.632	1.457	1.210	0.888	0.433
56949.23	39197.18	5223	55	203.73								5	1.199	1.071	1.369	1.375	1.125
56470.78	39203.40	5225	55	201.00								5	1.574	1.406	2.346	1.980	1.505
61115.88	40995.25	5226	101	228.60								5	1.565	1.398	1.409	1.305	1.105
60035.33	41807.06	5227	100.5	230.95								5	0.807	0.721	1.088	0.889	0.998
60078.68	40697.95	5228	99	224.25		113.11	114.75	115.89	117.75	117.74	119.16	5	1.206	1.077	0.871	0.879	0.582
56600.00	38317.00	5229	8	199.50								5	2.163	1.931	2.525	1.326	1.452
57300.00	35480.00	5230	-60	191.00								5	2.056	1.836	1.256	0.971	1.191
57300.00	34500.00	5231	-20	186.50								5	0.996	0.889	1.283	1.175	1.052
58573.00	37300.00	5233	-15	202.50								5			0.846	0.824	0.800
59980.00	41357.00	5234	100	227.50								5				0.519	0.994
60480.57	32356.57	6701	17	187.50	137.16							5	1.134	1.012	1.114	0.849	0.000
62281.41	31624.56	6771	10	193.00								5	0.569	0.508	0.602	0.388	0.579
35360.70	39476.72	4910	-35	101.75								4	1.002	0.895	0.839	1.225	0.804
35272.52	38701.96	4923	-18	108.65								4	1.202	1.074	1.372	1.468	1.299
32731.78	39693.83	4932	-118	94.65	46.00							4	0.354	0.316	0.088	0.000	0.000
35278.50	39101.00	4938	-25	105.75								4	0.190	0.170	0.084	0.050	0.461
39534.52	42796.43	5001	-130	121.90	91.44	66.03	67.93	69.75	69	70.1	72.2	4	0.379	0.339	0.883	0.669	0.767
38938.78	41973.65	5006	-113	115.85								4	0.945	0.844	0.000	1.410	0.854
37671.88	41072.10	5007	-85	111.06		61.59	63.16	63.4	64.1	63.28	68.3	4	0.869	0.776	0.696	0.857	0.816
38178.01	40998.11	5008	-82	111.11	60.96							4	1.121	1.001	1.098	0.927	0.519
39795.00	40974.41	5009	-75	115.35	60.96							4	0.247	0.221	0.111	0.084	0.031
39239.25	40927.10	5011	-75	112.20	101.68	60.45	62.26	62.61	62.47	63.47	67	4	0.738	0.659	0.743	0.872	0.672
39487.73	39593.06	5013	-3	117.00		61.45	63.02	64.23	66.25	67.5	68.05	4	1.796	1.604	0.775	1.632	1.521
37513.84	39444.67	5014	0	115.20		59.12	60.44	62.24	64.15	63.87	64.18	4	0.854	0.763	0.099	0.683	1.069
38289.78	39488.66	5015	0	115.70								4	0.955	0.853	0.659	1.236	0.523
40205.42	39582.61	5016	-10	117.43		62.95	64.56	65.19	67.65	69.2	69.3	4	0.820	0.732	0.848	0.377	0.217
48703.63	35338.45	5104	-65	143.45	24.38	43.13	44.7	46.49	47.95	49.93	51.33	4	0.880	0.786	0.162	0.189	0.164
50734.35	33991.55	5105	-68	151.10	80.77	53.09	54.7	54.66	56.11	57.07	59.27	4	0.957	0.854	1.004	1.132	0.972
55507.92	32908.18	5106	2	172.57	76.20							4	0.550	0.492	0.443	0.243	0.505
54456.08	33753.41	5108	-30	172.05	150.00							4	1.909	1.705	0.822	1.830	1.315
53708.43	33696.77	5111	-47	164.70								4	0.770	0.688	1.085	1.037	0.156
52703.16	33710.13	5122	-60	161.25								4	0.043	0.039	0.209	0.027	0.000
48438.00	34308.00	5127	-35	142.50								4	0.569	0.508	0.330	0.383	0.257
55546.11	31433.29	6605	11	169.65	76.20							4	0.126	0.113			
50360.86	31868.10	6606	-20	153.66								4	0.722	0.645	0.000	0.000	0.000
52721.57	29342.08	6609	0	156.08	91.44	56.72	58.57	59.62	60.98	62.6	63.33	4	1.286	1.149	0.660	0.147	0.000
52706.37	28200.45	6610	7	164.25	76.20							4	0.007	0.007			
53009.09	27187.62	6611	14	164.00								4	0.673	0.601	0.571	0.000	0.598
53505.82	26349.61	6612	20	170.88	91.44							4	0.645	0.576	0.133	0.185	0.057
55764.41	27605.90	6613	30	168.55	110.00							4	1.391	1.243	0.849	0.634	0.615
55849.45	26041.72	6614	35	169.67	65.00	63.3	65.29	67.19	68.9	70.9	72.27	4	0.000	0.000	0.610	0.587	1.213

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
55439.00	28549.00	6615	25	167.50								4			1.164	1.344	1.707
57644.81	31528.02	6702	22	178.10	150.00	80.13	81.62	83.39	85.44	87.35	88.27	4	0.763	0.681	0.748	0.555	0.695
58291.93	31952.05	6703	20	180.25	150.00	84.84	86.36	88.29	90.72	89.61	90.25	4	0.730	0.652	0.822	0.688	0.665
58310.29	31142.57	6705	23	178.30	105.00	75.25	76.62	78.29	80.95		82	4	0.844	0.754	0.822	0.485	0.871
59527.30	31193.57	6706	24	182.40	150.00							4	0.181	0.162	0.822	0.993	0.954
60271.58	30973.53	6707	20	184.73	137.16							4	0.000	0.000	0.000	1.087	0.907
57345.25	30578.52	6708	24	174.90	105.00	70.74	72.72	74.34	75.2	76.8	77.21	4	1.267	1.131	0.000	0.000	0.000
57974.04	30315.47	6709	32	176.30	106.68							4	0.000	0.000	0.907	0.967	0.917
63921.22	28677.79	6711	-33	197.40	106.71	93.14	91.89	90.89	92.71	94.26	96.64	4	0.993	0.887	0.795	0.566	0.711
56359.53	28429.58	6713	31	171.05	110.00	68.55	67.53	68.89	69.92	72.25	72.35	4	1.390	1.241	0.834	0.960	0.779
59358.21	27681.63	6714	17	171.05	75.00							4	0.533	0.476	0.457	0.690	0.000
56318.43	27476.75	6716	33	170.40	100.00							4	2.622	2.342	1.056	1.567	1.753
58367.73	27394.94	6717	21	177.75	74.00							4	0.819	0.731	0.899	0.925	1.041
57484.70	27273.24	6718	29	174.65	68.00							4	0.876	0.782	0.694	0.367	0.505
59427.81	27126.48	6719	15	181.70		81.85	80.65	82.64	82.08	84.02	83.22	4	1.953	1.744	1.835	0.804	0.349
61043.31	26828.98	6720	2	181.70	91.44							4	0.853	0.762	0.018	0.000	0.000
61580.61	26888.78	6724	-5	177.70	70.10	65.96	68.17	69.54	71	72.6	72.7	4	1.020	0.911	0.908	0.938	0.808
58299.62	26564.40	6727	18	177.90	78.90							4	0.815	0.728	0.268	0.299	0.199
56909.62	25773.02	6732	27	173.90		68.74	70.68	72.68	73.39	74.49	73.92	4	0.859	0.767	0.822	0.359	0.594
62030.12	24510.93	6739	-43	188.75		84.41	86.06	84.96	86.73	85.6	86.18	4	0.478	0.427	0.108	0.000	0.000
56941.65	24542.11	6740	20	174.40		68.97	71	70.64	72.76	73.7	74	4	1.018	0.909	0.090	0.000	0.000
63441.66	24737.36	6743	-58	194.80	100.00							4	1.440	1.286	1.668	0.406	0.000
62748.35	24468.78	6744	-54	178.50								4	0.781	0.698	0.815	0.488	0.397
61169.56	23900.89	6748	-30	185.90	106.68							4	0.637	0.569	0.705	0.737	0.000
56552.04	23316.66	6749	21	171.60	51.82							4	0.575	0.513	1.016	0.270	0.000
57978.29	23919.09	6750	13	178.75	91.44	73.92	75.05	74.93	75.59	76.3	76.96	4	0.929	0.829	0.000	0.000	0.000
59728.68	23641.87	6752	-2	180.75	91.44	80.03	81.63	81.49	81.95	83.1	84.12	4	0.592	0.529	0.205	0.435	0.525
60416.41	23455.83	6754	-20	183.25		79.6	80.19	81.59	83.81	85.4	86.3	4	0.931	0.831	0.000	0.000	0.511
58561.98	23845.13	6758	9	180.65		74.95	76.6	76.54	76.6	77.9	77.9	4	0.593	0.529	0.321	0.000	0.000
58496.72	23236.26	6763	6	179.40	83.84							4	0.929	0.829	0.000	0.000	0.000
60088.11	27062.70	6766	9	183.65								4	0.643	0.574	0.703	0.684	0.640
57897.85	30349.70	6767	31	208.65								4	0.523	0.467	0.335	0.308	0.258
56420.69	31665.78	6770	15	173.85								4	0.650	0.580	0.578	0.586	0.488
63643.89	19347.51	8201	-55	196.72	70.00							4	1.509	1.347	1.263	1.087	0.836
57311.61	22009.87	8202	11	177.57	91.44							4	0.921	0.822	1.091	0.759	0.326
61015.02	22273.29	8204	-48	184.75	91.44							4	0.000	0.000	0.871	0.509	0.272
63542.18	21998.09	8206	-60	195.73	91.44							4	0.775	0.692	0.685	0.365	0.000
57986.37	20803.99	8211	6	181.20	61.62	71.41	73.46	74.97	76.72	78.27	78.42	4	1.096	0.979	0.422	0.397	0.318
59526.53	20540.54	8212	-20	183.70		78.95	80.85	82.39	84.17	85.7	87.16	4	1.101	0.983	0.023	1.147	0.689
59516.02	19709.27	8214	-25	184.73	81.69							4	0.000	0.000	0.724	0.876	0.942
61528.79	18885.89	8215	-59	191.07	91.44							4	0.707	0.631	1.210	0.645	0.162
62149.22	19432.44	8216	-63	193.30	91.00	83.8	85.75	84.99	86.95	86.17	87.16	4	0.762	0.680	0.745	0.665	0.395

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
63274.51	19717.85	8217	-58	196.72	91.44							4	0.849	0.758	0.727	0.410	0.483
62380.52	18753.38	8218	-64	193.03	106.68	60.44	62.51	64.05	65.3	66.8	67.81	4	0.930	0.830	0.683	0.375	0.566
63631.12	18305.67	8220	-58	195.70	95.09	84.65	84.94	84.34	85.42	86.05	86.44	4	1.063	0.949	0.820	0.847	0.508
60279.28	18646.56	8221	-45	186.50								4	0.928	0.828	0.737	0.677	0.671
60393.37	19332.41	8222	-50	186.75	125.00							4	0.812	0.725	0.632	0.639	0.671
61901.85	18814.74	8223	-62	191.87	91.44							4	0.850	0.759	0.416		
59588.30	18599.83	8224	-25	185.90								4	1.216	1.086	1.232	0.956	0.625
63457.63	15104.22	8226	-63	200.77		83.47	84.68	84.02	85.02	84.65	84.75	4	0.720	0.643	0.314	0.219	0.336
62033.94	22504.46	8227	-58	189.75								4	0.521	0.465	0.000	0.000	0.000
63339.64	14085.85	8228	-62	203.25		79.62	81.43	80.94	82.95	83.89	84.22	4	0.332	0.296	0.148	0.034	0.013
62439.56	14994.81	8229	-59	197.72		82.45	82.6	84.27	82.75	82.95	83.15	4	0.885	0.790	0.907	0.892	0.299
62242.97	16161.17	8230	-61	192.35								4	1.015	0.906	1.258	1.269	0.547
63568.84	13218.41	8231	-63	207.79								4	0.193	0.173	0.524	0.000	0.000
62419.31	13354.47	8232	-55	208.20								4	0.000	0.000	1.116	0.026	0.000
63088.69	19420.84	8235	-60	192.60		87.81	88.1	87.65	89.52	90.02	91.65	4	0.754	0.673	0.583	0.000	0.000
94184.00	33059.76	5501	50	325.35	66.00							3	1.688	1.508	0.975	0.795	0.553
94927.81	32742.40	5502	50	326.25	66.00							3	1.908	1.704	0.597	0.759	0.554
94177.81	32405.87	5504	50	320.25		40.1	42.22	44.12	42.37	41.48	42.98	3	0.000	0.000	1.035	0.383	0.793
90406.29	32508.74	5505	50	309.10								3	0.137	0.123	0.000	0.000	0.000
95179.83	34092.27	5507	50	327.75		69.27	71.09	72.99	73.53	75.33	76.23	3	0.151	0.135	0.012	0.050	0.032
94387.62	34343.58	5508	50	336.00		54.62	56.68	58.58	58.58	58.93	57.97	3	0.212	0.189	0.067	0.127	0.108
90988.01	35207.57	5509	50	356.14								3	0.364	0.325	0.374	0.027	0.000
64366.79	28295.44	6712	-47	198.20	116.46							3	1.385	1.236			
65007.48	26624.85	6723	-58	198.05	116.00	79.08	78.55	79.47	81.82	82.3	82.4	3	0.399	0.356	0.503	0.398	0.142
65094.95	25149.47	6737	-50	198.60	106.68							3	1.089	0.972	0.308	0.260	0.568
64845.88	30661.82	6769	-12	204.70		85.65	87.77	88.63	90.45	89.04	89.65	3	0.225	0.201	0.411	0.000	0.184
68290.18	29545.13	6801	25	210.00	45.75							3	1.359	1.214	1.825	1.701	1.809
68211.06	29335.45	6802	25	218.70	60.96							3	1.061	0.948	0.678	0.922	0.384
67291.93	28570.45	6803	-10	210.00	70.00							3	0.799	0.714	0.962	0.758	0.900
68487.75	28434.29	6804	53	218.10	70.00	97.27	97.5	99.49	102.05	103.84	104.26	3	0.351	0.313	0.296	0.702	0.832
69503.82	28488.81	6805	98	216.00	45.72							3	1.285	1.148	0.767	0.498	0.314
70564.03	28221.45	6806	100.2	221.40	137.16							3	1.063	0.949	0.004		
72642.60	24018.49	6808	100.3	229.00	137.20							3	0.687	0.614	0.655	0.897	0.576
70964.96	23971.30	6809	99	220.00	106.68							3	0.869	0.776	0.241	0.000	0.000
70338.61	24499.57	6810	100	221.85	137.16	101.42	103.01	102.23	102.59	102.04	101.94	3	0.770	0.687	0.567	0.000	0.000
72544.17	24629.27	6811	100.3	227.35	121.95							3	0.281	0.251	0.218	0.313	0.224
73492.50	23753.85	6812	100.4	231.00	121.92							3	1.138	1.016			
71092.69	23415.58	6814	80	223.00	121.92	103.16	102.37	102.71	102.75	103.3	103.4	3	0.247	0.221	0.000	0.622	0.779
73488.72	23421.35	6815	100.3	230.85								3	0.399	0.357	0.019	0.000	
71117.59	23082.75	6816	75	222.65	137.16	98.02	99.55	101.36	103.65	102.5	103.02	3	0.000	0.000	0.000	0.048	0.000
72390.18	25406.97	6823	100.4	227.50								3	0.160	0.142	0.025	0.047	0.034
69834.03	24782.58	6824	100	218.35								3	0.730	0.652	0.598	0.000	0.335

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
69904.20	24227.52	6825	80	214.00								3	1.003	0.895	0.939	0.912	0.463
70785.09	24161.83	6828	98	230.20								3	0.557	0.497	0.404	0.000	0.718
75225.52	23612.37	6829	100.3	239.00								3	0.052	0.047	0.973	1.247	1.309
69438.41	27813.40	6830	100	219.50								3	1.165	1.041	1.436	0.951	1.014
71663.84	26401.87	6831	100.4	224.50								3	0.701	0.626	0.960	1.076	1.072
68775.90	27688.19	6832	78	218.00		95.38	96.7	97.49	99.86	101.8	102.3	3	0.476	0.425	0.257	0.093	0.385
78666.22	29792.80	6901	60	267.65	106.64							3	0.379	0.339	0.083	0.000	0.000
79603.42	29660.69	6902	73	266.70	60.96							3	0.237	0.212	0.123	0.204	0.142
82098.75	29234.96	6904	122	270.78	108.00							3	0.309	0.276	0.450	0.288	0.030
77720.73	30911.61	6909	54	270.30								3	0.362	0.324	0.050	0.000	0.000
80300.00	29100.00	6910	80	265.50								3	0.148	0.132	0.131	0.137	0.116
84091.48	29280.56	6911	180	276.75								3	0.521	0.465	0.501	0.000	0.000
81016.99	27495.12	6920	90	259.10								3	0.956	0.854	0.687	0.000	0.000
79839.16	27541.01	6921	60	255.75	137.16							3	0.673	0.601	0.464	0.179	0.093
79327.75	26316.16	6923	43	249.75	121.92	75.2	76.1	77.85	77.91	78.25	78	3	0.525	0.469	0.750	0.599	0.557
81380.06	26504.74	6925	90	259.35	106.64	78.16	78.37	79.85	78.76	79.2	78	3	0.682	0.609	0.665	0.182	0.214
80436.27	26049.27	6926	63	254.75		77.85	76.52	76.59	76.87	77.47	75.83	3	0.488	0.436	0.653	0.114	0.000
93666.38	31989.53	7002	50	315.45	152.40							3	0.543	0.485	0.609	0.567	0.575
94758.07	32001.37	7003	50	320.65								3	0.374	0.334	0.649	0.200	0.507
93169.68	32116.19	7004	50	314.15	66.00	40.15	39.97	40.77	41.91	42.33	41.93	3	0.840	0.751	0.603	0.428	0.074
95477.59	32149.79	7006	50	325.35	66.00	37.97	39.95	41.26	40.41	41.63	40.74	3	0.460	0.410	0.901	0.600	0.913
92500.00	31700.00	7007	60	308.50								3	1.019	0.910		0.266	0.088
95908.12	32112.53	7008	50	327.20								3	1.032	0.922	0.686	0.609	0.416
95527.58	31351.29	7010	50	321.20		31.74	33.82	34.82	34.1	35.82	34.41	3	0.260	0.233	0.134	0.159	0.114
95706.62	31039.27	7011	50	321.10	66.00	35.92	35.02	35.41	34.81	36.49	35.11	3	0.495	0.442	0.729	0.757	0.908
93486.47	32201.84	7012	50	316.45	60.96	48.32	47.35	48.04	48.39	48.52	48	3	0.329	0.294	0.475	0.272	0.187
91634.14	30767.65	7014	100	298.85		48.21	50.69	51.73	52.62	52.84	51.6	3	0.727	0.649	0.000	0.000	0.000
93068.77	30576.48	7017	95	306.05		33.25	34.39	34.84	34.25	34.81	38	3	1.312	1.171	1.348	1.236	0.888
93811.88	30170.38	7019	90	306.95								3	0.695	0.621	0.237	0.162	0.133
94709.63	29906.96	7020	90	311.21	100.00							3	0.373	0.333	0.572	0.000	0.171
95588.36	29654.89	7021	85	322.25		28.85	29.54	29.09	30.01	30.29	29	3	0.165	0.147	0.479	0.364	0.300
95930.85	29407.85	7022	90	323.00								3	0.363	0.324	0.480	0.465	0.371
91237.94	28432.77	7023	190	292.80		12.52	13.73	15.63	16.13	17.49	17.59	3	0.312	0.278	0.203	0.161	0.235
89500.00	29300.00	7030	100	289.50								3	0.186	0.166	0.479	0.193	0.196
89582.23	30510.64	7033	80	294.73								3	0.263	0.235	0.271	0.301	0.217
93737.59	30414.93	7034	80	305.50		26.77	28.31	29.7	31.39	31.9	30.84	3	0.478	0.427	0.472	0.144	0.129
88950.89	30583.41	7037	60	291.55								3	0.311	0.277	0.756	0.000	0.000
89053.80	30338.53	7040	65	291.00								3			0.058	0.185	0.047
91305.32	29451.84	7048	150	297.65	91.44							3	0.237	0.212	0.182	0.169	0.001
97714.61	31763.35	7101	50	331.65		47.57	49.05	50.65	51.38	51.32	50.64	3	1.194	1.066	0.750	0.559	0.504
97654.33	31453.56	7102	50	329.74		43.41	45.4	46.13	46.25	46.62	46.72	3	0.411	0.367	0.000	0.000	0.000
98267.11	31447.97	7103	50	333.19	58.21							3	1.283	1.146	0.087	0.069	0.098

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
97470.17	31211.40	7105	50	327.50		35.99	37.47	38.9	39.15	39.5	39.67	3	0.509	0.455	0.349	0.356	0.535
97465.40	30690.50	7107	50	326.65		37.41	39.42	40.89	41.08	41.38	40.71	3	0.512	0.457	0.277	0.259	0.249
98679.48	30457.78	7108	50	331.96	61.00							3	0.242	0.216	0.000		
98894.42	29868.40	7115	50	333.08	85.34							3	0.412	0.368	0.424	0.399	0.174
98117.64	29753.51	7118	50	327.30								3	0.805	0.719	0.495	0.000	0.000
97502.53	29515.28	7122	60	322.75	85.34							3	0.622	0.555	0.587	0.016	0.000
97691.23	29203.21	7123	60	323.25								3	0.469	0.418	0.648	0.038	0.000
98110.99	29022.05	7124	60	325.76								3	1.748	1.561	1.876	1.824	1.529
97071.29	28444.11	7126	90	325.63		30.5	32.33	33.79	34.47	34.88	33.64	3	1.486	1.327	0.936	1.225	1.049
102865.95	31750.78	7127	85	361.20								3	0.379	0.339	0.196	0.109	0.092
65493.65	22462.06	8205	-32	202.40	116.00							3	1.177	1.051	0.000	0.000	0.000
65164.85	22222.17	8208	-42	201.72	106.68							3	0.423	0.378	0.000	0.000	0.000
71991.32	22385.42	6817	81	225.45	138.00							2	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
73671.33	22621.19	6819	100	231.55	138.00							2	1.276	1.140	0.000	0.000	0.000
84727.76	28753.01	6917	190	275.80								2	0.344	0.308	0.268	0.106	0.154
84946.51	26744.50	6922	170	269.75	49.24							2	0.167	0.149	0.178	0.264	0.245
81630.83	25759.42	6928	100	251.25	137.16							2	0.568	0.507	0.000	0.000	0.000
80055.73	25410.46	6927	49	251.25								2	0.522	0.466	0.496	0.276	0.314
80751.45	25059.39	6929	75	253.75								2	0.718	0.641	0.440	0.234	0.192
77767.74	22974.56	6932	45	249.90	137.16	110.7	110.2	110.39	111.95	112.12	112.22	2	0.917	0.819	0.584	0.414	0.391
77103.10	22671.50	6933	65	242.10	137.16	110.27	109.7	110.26	111.45	110.89	116.64	2	0.024	0.021	0.002	0.000	0.000
80009.40	22883.72	6934	49	251.00	100.00							2	0.544	0.486		1.223	0.513
82450.80	22647.15	6935	150	257.95								2	0.938	0.838	0.777	0.504	0.440
83015.15	22541.47	6936	125	260.55		86.28	87.87	86.18	86.75	88.2	86.54	2	1.195	1.067	0.665	0.566	0.119
84138.06	26387.08	6941	155	267.20		44.95	46.79	48.69	48.65	48.8	47.43	2	0.474	0.423	0.623	0.567	0.346
79315.99	25230.01	69117	40	248.20								2	0.462	0.412	0.798	0.401	0.309
65661.29	21262.85	8210	-30	200.64	91.44							2	1.455	1.299			
64403.58	14017.43	8234	-59	206.75								2	0.887	0.792	0.195	0.000	0.000
64152.78	19407.80	8237	-53	197.50		90.01	90.34	89.06	90.75	91.33	91.85	2	0.809	0.722	1.039	1.111	0.549
64937.96	18533.61	8238	-45	198.10		82.26	84.36	86.26	86.9	86.38	86.68	2	1.291	1.153	0.716	0.511	0.319
65500.00	21800.00	8239	-30	202.00								2	1.479	1.321	0.849	0.795	0.678
66652.23	21561.31	8301	-8	204.60	97.50	98.09	99.5	100.55	98.76	99.27	99.7	2	0.579	0.517	0.253	0.168	0.281
74404.99	22236.02	8302	100.3	233.40	137.16							2	0.618	0.552	0.012	0.030	0.000
68161.44	21111.01	8303	40	211.50	182.93							2	1.649	1.473	1.502	0.558	0.004
66740.67	20141.37	8304	-5	204.50	91.00							2	1.233	1.101	1.543	0.186	0.000
67586.81	19543.78	8305	35	206.83		97.57	98.46	98.49	99.79	98.8	99.45	2	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000
66730.06	19254.71	8306	0	203.55		94.26	95.4	96.63	96.28	95.59	96.4	2	0.237	0.212	0.810	1.095	1.358
72536.06	17213.72	8307	100.4	221.55	40.00							2	0.536	0.478	0.345	0.168	0.011
72627.22	15117.69	8309	100.3	218.50	106.68	84.29	84.54	86.44	88.45	88.98	89.33	2	1.308	1.168	0.816	0.579	0.890
67639.62	15109.21	8310	20	206.65	121.92							2	1.200	1.071	1.176	0.838	0.279
66673.32	14511.06	8311	-15	206.25	121.92							2	0.713	0.637	0.911	0.808	0.571
67208.95	14382.73	8312	0	207.13	121.92							2	0.628	0.561	0.354	0.336	0.312

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático					Zona	Gastos de extracción					
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)		2001 (m)	1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
68285.82	15411.94	8313	45	207.95	121.92							2	1.293	1.155	1.195	0.932	1.208
73248.59	14090.84	8314	100.3	219.95	91.44							2	1.057	0.943	0.719	0.839	0.456
66181.16	13463.89	8316	-33	209.70	121.92							2	1.415	1.263	1.707	0.922	0.342
66822.74	13367.53	8317	-25	209.83	121.92							2	1.186	1.059	0.545	0.000	0.000
67197.61	13429.58	8318	-11	210.90	152.40							2	1.069	0.955	1.168	0.325	0.409
68068.22	13230.81	8319	10	209.35	97.53							2	0.955	0.852	0.940	0.374	0.282
69004.57	12909.41	8320	29	212.95		90.67	90.2	91.33	92.55	93.13	94.01	2	1.255	1.121	1.647	0.795	0.644
73691.70	15105.60	8322	100.5	219.55	106.68							2	1.195	1.067	0.753	0.401	0.407
71745.72	12689.17	8324	90	217.73								2	0.221	0.197	0.258	0.220	0.260
66614.25	18391.47	8325	0	202.30								2	0.977	0.872	1.216	1.507	1.490
72599.42	12679.40	8326	100.2	219.15								2	0.861	0.769	0.746	0.568	0.387
71056.24	13628.21	8327	83	215.00								2	1.061	0.947	0.506	0.669	0.428
73280.44	21118.11	8328	100	230.45								2	0.202	0.181	0.142	0.164	0.133
67504.32	19057.03	8329	33	206.10								2	0.693	0.619	0.174	0.171	0.386
67293.59	21487.13	8330	5	206.70								2	1.199	1.071	2.075	0.488	0.000
78718.91	22310.20	8402	38	249.50	58.00							2	1.012	0.904	0.735	0.883	0.802
79226.23	22249.27	8403	38	246.05	60.00	72.66	73.17	75.07	76.4	77.07	77.52	2	0.640	0.571	0.656	0.542	0.319
80582.45	21802.39	8404	75	253.01	100.00							2	0.607	0.542	0.427	0.894	0.304
80135.01	20299.72	8406	75	256.07		75.74	77.96	78.51	80.64	81.63	81.44	2	0.000	0.000	0.822	0.757	1.057
79965.40	21465.39	8407	56	257.93	100.00							2	0.811	0.724	0.822	1.494	0.777
81016.13	20223.79	8409	100	247.85	140.00	73.4	75.28	77.18	77.73	78.29	78.58	2	0.653	0.583	0.869	0.839	0.491
81850.71	18463.63	8413	100.4	247.14								2	0.981	0.876	0.716	0.626	0.379
65307.15	7011.95	9701	-59	244.91								2	0.707	0.631	0.877	0.590	0.388
65186.15	8121.88	9702	-61	239.29								2	0.859	0.767	0.457	0.000	0.000
63882.93	8292.87	9703	-40	248.24								2	0.584	0.522	0.384	0.301	0.385
62952.50	8337.50	9704	0	257.93								2	0.989	0.883	0.620	0.598	0.350
65560.41	8117.38	9706	-62	237.09								2	1.317	1.176	0.711	0.600	0.502
63897.92	9523.11	9707	-54	235.24								2	0.148	0.132	0.794	0.552	0.473
70860.04	12422.25	9801	68	217.03								2	0.749	0.669	0.721	0.826	0.597
66050.51	11370.42	9803	-53	216.73	128.10							2	0.919	0.821	0.741	0.436	0.507
66142.49	10238.67	9804	-55	219.90	121.92							2	0.305	0.273	0.000	0.000	0.000
66967.62	10228.81	9805	-40	218.27	167.60							2	1.030	0.920	0.761	0.585	0.759
68011.19	10028.00	9806	-20	217.79	121.92							2	0.000	0.000	0.502	0.000	0.001
71260.54	10544.34	9807	58	218.10	167.94	88.28	89.53	88.61	89.73	90.25	90.85	2	0.924	0.825	0.347	0.161	0.213
72868.28	11013.67	9808	95	223.83								2	1.024	0.914	0.447	0.696	0.431
66742.53	9056.51	9809	-53	225.06	91.46							2	0.817	0.730	0.632	0.602	0.572
67732.70	9199.93	9810	-30	219.55	121.92							2	0.960	0.858	1.160	1.276	1.088
71711.14	9674.57	9811	62	222.73	167.94							2	0.357	0.319	0.201	0.201	0.114
72190.25	9613.66	9812	70	223.93	167.64							2	0.622	0.555	0.455		0.267
68209.20	8917.19	9813	-25	220.25	121.92							2	0.882	0.787	1.090	1.144	1.157
67451.94	8183.47	9814	-45	226.19		91.84	93.6	93.47	92.78	93.2	93.38	2	0.739	0.660	0.448	0.455	0.354
68199.41	8085.96	9815	-25	222.68								2	1.654	1.477	1.033	0.410	0.435

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático					Zona	Gastos de extracción					
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)		2001 (m)	1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
68186.35	6977.64	9816	-30	224.13	137.16							2	0.729	0.651	0.510	0.319	0.322
71944.50	4905.56	9817	42	235.25	168.25	71.71	73.3	72.64	74.81	76	75.96	2	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
71172.72	2908.12	9818	23	243.73		69.91	71.18	72.15	74.15	75.1	75.88	2	0.505	0.451	0.000	0.000	0.000
69369.77	8038.97	9819	5	223.75								2	0.000	0.000	0.000	1.114	0.931
69357.22	6963.91	9820	5	225.80								2	0.813	0.726	0.000	0.251	0.365
69310.15	2929.68	9821	-25	254.14								2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.613
71920.60	12044.26	9822	85	218.85								2	0.825	0.737	0.954	0.425	0.539
71900.55	10293.13	9823	68	219.77								2	0.902	0.806	0.411	0.358	0.001
66012.90	8233.88	9824	-61	234.06								2	0.792	0.707	0.000	0.470	0.000
67439.20	7108.40	9825	-52	232.12								2	0.764	0.682	0.921	0.627	0.507
66009.18	7923.55	9826	-62	239.10								2	0.967	0.863	1.215	0.898	0.623
72499.06	11450.17	9827	88	221.75								2	0.866	0.774	0.807	0.785	0.337
70382.36	7628.15	9828	22	226.21								2	1.274	1.137	1.065	1.797	1.488
71419.82	7704.86	9829	40	227.81								2	1.433	1.280	1.459	1.736	1.695
75643.78	6061.03	9830	100.3	238.25		86.5	87.17	87.32	87.6	88.97	88.45	2	0.854	0.763	0.799	0.439	0.474
74696.75	7213.26	9831	100.3	233.40								2	0.434	0.387	0.403	0.000	0.391
71506.90	8601.71	9832	49	225.63								2	0.949	0.848	1.096	0.910	0.727
75710.38	5140.30	9833	100.3	240.72								2	1.025	0.915	0.994	0.972	0.662
74572.29	6383.33	9834	100.2	233.75								2	0.664	0.592	0.088	0.000	0.349
75740.72	7877.78	9835	100.4	234.83	91.44							2	0.906	0.809	0.624	0.423	0.360
72414.20	6529.62	9836	52	231.30								2	2.035	1.817	1.727	1.775	1.316
73931.50	8297.03	9837	100.1	230.73								2	0.883	0.788	0.104	0.230	0.217
72450.31	7172.11	9838	60	231.05								2	1.254	1.120	0.868	0.056	0.000
72485.04	7692.68	9839	63	229.55								2	2.059	1.839	1.799	0.730	0.000
66717.96	6995.04	9840	-58	235.58								2	0.845	0.754	1.101	0.643	0.476
70327.84	2917.86	9841	10	247.15								2	1.600	1.429	0.000	0.000	0.000
67919.06	7102.73	9843	-23	223.95								2	0.203	0.182	0.206	0.165	0.286
76619.56	10118.19	9905	100.7	235.21	155.44							2	1.756	1.568	1.902	0.171	0.000
76176.91	9136.57	9906	100.5	234.77	170.68	88.93	90.2	91.09	90.83	90.25	90.37	2	0.758	0.677	0.829	0.809	0.605
77731.96	4774.48	9907	100.5	247.95	137.16							2	0.598	0.534	0.090	0.000	0.000
78535.18	2704.11	9908	100.6	266.72	167.64	97.75	99.36	99.46	101.2	101.52	104.5	2	0.542	0.484	0.078	0.116	0.169
77593.32	7026.09	9911	100.6	241.35								2	0.607	0.542	0.492	0.396	0.373
78786.96	6458.92	9913	100.8	246.64								2	1.211	1.081	0.470	0.249	0.236
78997.79	5536.66	9914	100.8	249.95								2	1.059	0.946	1.033	0.791	0.000
84425.26	4980.75	9917	101.9	266.72								2	0.011	0.010	0.000	0.000	0.000
79053.69	3596.33	9918	100.6	266.72		96.85	98.41	98.39	99.87	100.22	100.92	2	0.050	0.045	0.122	0.007	0.000
76649.49	5861.49	9919	100.5	255.75								2	1.014	0.906	1.519	1.023	1.111
83726.25	4223.16	9920	101.6	267.25		107	108.77	108.73	109.2	110	110.73	2	0.762	0.681	0.611	0.004	0.002
82990.66	5494.36	9922	101.7	262.03								2	0.005	0.005	0.000	0.531	0.173
79700.00	6309.00	9923	101	251.85								2	1.750	1.563	1.144	0.938	0.864
77172.26	9768.50	9924	100.7	237.75								2	0.796	0.711	0.966	1.032	0.223
77673.76	9120.13	9925	100.8	239.00								2	0.494	0.441	0.668	0.535	0.028

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
70791.54	1493.70	11301	10	252.00							2	1.564	1.397	0.003	0.000	0.000	
100398.79	28879.57	7114	50	338.89							1	0.517	0.462	0.000	0.000	0.000	
99178.42	29500.08	7119	50	333.87		44	45.52	46.39	45.95	47	45.45	1	0.796	0.711	1.015	1.095	0.686
101039.08	28718.74	7120	50	340.69								1	0.926	0.827	1.238	0.696	0.674
99915.79	28418.36	7121	50	334.31		43.7	45.42	44.27	45.16	44.7	43.47	1	1.227	1.095	0.836	1.486	0.812
101761.40	26983.35	7130	50	340.69		44.09	46.17	47.57	48.29	48.49	47.06	1	0.759	0.678	0.024	0.000	0.000
98645.32	26678.54	7131	90	321.96	60.96	33.47	35.28	35.32	34.71	34.88	34.98	1	1.334	1.191	0.492	0.349	0.492
99711.56	27001.47	7132	60	328.78								1	0.249	0.223	0.284	0.349	0.228
97980.95	26307.71	7133	110	320.70								1	0.876	0.782	0.778	0.856	0.346
99458.30	25463.10	7137	90	324.68		30.22	29.97	31.49	32.22	31.4	30.81	1	0.531	0.474	0.494	0.529	0.456
99886.44	25126.77	7138	80	319.84		36.14	35.82	36.87	35.59	36.35	34.9	1	0.474	0.423	0.279	0.048	0.027
102072.30	25284.85	7139	50	339.46		42.39	43.62	45.52	46.35	48.16	48.76	1	0.995	0.889	0.539	0.119	0.000
103106.48	25220.47	7140	50	346.80								1	0.732	0.654	0.385	1.266	1.216
104618.27	24985.88	7141	68	353.57								1	0.569	0.508	0.108	0.147	0.236
100064.92	24726.17	7142	85	329.10		31.82	34.02	35.92	36.19	36.37	35.04	1	0.234	0.209	0.197	0.159	0.005
100520.38	24223.37	7145	85	330.83								1	0.542	0.484	0.091	0.093	0.194
102641.29	26820.52	7146	50	347.10		41.76	43.63	45.53	45.9	46.05	46.81	1	0.271	0.242	0.000	0.000	0.390
100881.72	23909.83	7147	85	331.99								1	0.438	0.391	0.000	0.000	0.000
103915.34	23451.26	7148	50	347.18								1	0.825	0.736	0.870	0.000	0.000
103666.12	22322.87	7149	50	343.72		35.45	36.1	37.49	35.9	36.78	34.99	1	0.870	0.777	0.652	0.809	0.471
104596.68	22436.87	7151	50	350.38		39.57	41.32	39.72	40.03	41.13	40.12	1	0.005	0.004	1.398	0.544	1.305
104969.38	22311.81	7152	50	351.59								1	2.104	1.878	1.447	1.770	0.000
105077.31	22610.15	7153	50	351.59								1	0.896	0.800	0.904	0.373	0.216
102500.00	27500.00	7156	50	346.50								1	0.900	0.804	0.672	0.693	0.361
102438.24	24394.98	7164	50	338.24		41.3	42	42.49	41.45	41.53	41.55	1	1.030	0.920	0.556	0.343	0.211
112756.93	26804.16	7201	200	392.64		54.02	56.2	58.18	59.65	59.39	60.58	1	0.948	0.846	0.124	0.078	0.094
108265.95	24656.35	7202	120	368.56								1	0.953	0.851	0.598	0.000	0.000
108365.31	23912.96	7203	115	367.11								1	1.222	1.091	0.742	0.000	0.000
107107.15	23557.50	7204	85	361.45								1	0.723	0.645	0.481	0.000	0.372
112297.69	23172.41	7206	193	382.38								1	0.677	0.604		0.000	0.000
110431.52	22267.14	7207	155	370.11								1	0.888	0.793	0.441	0.047	0.653
113596.08	22541.77	7208	200	381.04								1	1.043	0.931	0.948	0.700	0.503
108318.54	25232.25	7211	120	369.75		51.84	53.88	54.02	53.55	53.99	52.98	1	0.865	0.773	0.000	0.000	0.000
107359.07	25062.76	7212	105	366.49								1	0.773	0.691	1.049	0.000	0.000
115466.54	22782.57	7213	200	389.54		61.28	63.33	65.23	66.07	66.36	66.18	1	0.118	0.106	0.927	0.735	0.436
114800.66	22196.85	7214	200	385.99		58.83	60.81	62.71	63.45	63.73	64.4	1	0.838	0.749	1.013	0.889	0.704
111607.24	30448.42	7215	200	400.88								1	0.664	0.592	0.167	0.260	0.237
111614.71	31401.53	7216	200	405.64								1	0.995	0.889	0.008	0.464	0.012
104486.01	21817.14	8602	50	348.25		31.98	34.39	36.29	35.8	36.08	36.77	1	0.672	0.600	0.581	0.407	0.322
104988.51	21170.05	8603	60	347.78								1	1.163	1.038	0.160	0.705	0.819
104065.39	21942.63	8606	50	345.19								1	0.469	0.419	0.477	0.387	0.236
108616.90	21849.42	8701	100	362.10								1	0.838	0.748	0.000	0.000	0.000

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
108929.66	21414.65	8703	100	359.10							1	1.995	1.781	0.822	1.942	0.523	
109779.13	20975.59	8704	120	361.42							1	1.838	1.642	0.822	2.015	0.550	
110708.77	20968.21	8705	150	366.18							1	1.274	1.137	1.271	0.315	0.000	
110150.17	20629.05	8706	130	362.67							1	1.704	1.522	1.341	0.338	0.000	
110704.65	20447.33	8707	140	364.49							1	0.379	0.339	0.822	0.690	0.698	
109770.55	19900.58	8708	110	358.69							1	1.515	1.353	1.102	0.184	0.000	
112197.65	20158.57	8709	180	366.69							1	1.583	1.414				
115069.52	19671.19	8710	200	372.78							1	0.741	0.662	0.327	0.572	0.004	
115065.12	19083.82	8711	200	371.99		44.02	43.77	44.79	44.99	45.34	45.94	1	0.748	0.668	0.397	0.585	0.467
115572.73	19024.62	8712	200	374.01		33.6	36.01	37.91	38.62	38.65	39.55	1	0.512	0.457	0.000	0.000	0.000
106480.54	20791.83	8713	50	350.65		40.2	38.95	40.43	39.37	39.9	39.02	1	0.130	0.116	0.437	0.150	0.419
106658.51	20291.61	8714	50	349.75								1	0.197	0.176	0.044	0.552	0.075
107030.76	20100.12	8715	50	348.22								1	0.383	0.342	0.060	0.000	0.000
111265.26	19822.26	8716	150	362.84								1	1.454	1.299	0.822	0.751	0.739
111624.90	19232.04	8717	150	361.78								1	1.348	1.204	0.822	1.174	0.698
112184.76	18496.19	8718	150	363.28								1	0.988	0.883	0.822	0.930	0.682
115881.25	17969.44	8720	200	374.18		41.85	43.6	45.49	47.15	47.57	47.9	1	0.853	0.762	1.063	1.246	0.917
113316.77	17345.92	8721	150	366.93								1	0.015	0.014	0.029	0.104	0.091
114946.06	17267.09	8722	200	371.15		39.99	42.4	44.3	44.22	45.58	45.03	1	0.856	0.765	1.132	1.319	0.956
115560.12	17329.01	8723	200	373.13								1	1.536	1.372	1.215	0.867	0.286
112169.22	16490.27	8724	103	364.80								1	1.018	0.909	0.822	0.882	0.458
107905.77	19261.71	8725	54	349.75		33.98	35.15	37.05	36.51	36.74	37.05	1	0.649	0.579	0.564	0.214	0.388
109923.21	16197.58	8726	70	359.75								1	0.710	0.634	0.501	0.274	0.314
110112.59	15896.83	8727	70	360.25		35.65	37.27	38.55	38.1	39.4	39.92	1	1.068	0.953	1.225	0.740	0.569
113200.46	15928.18	8728	125	360.69								1	0.780	0.696	0.822	0.605	0.476
113916.55	15523.73	8729	138	370.68								1	0.715	0.638	0.565	0.631	0.000
112554.54	15478.73	8730	100	362.98								1	0.000	0.000	0.822	1.145	0.640
113911.43	14847.71	8731	120	369.97								1	1.231	1.099	0.822	1.187	0.842
115169.43	15082.07	8732	160	368.86								1	1.270	1.134	0.822	0.801	0.624
113486.46	14451.95	8733	100	366.47								1	1.315	1.175	0.063	0.000	0.000
114520.05	14167.05	8734	120	369.84		45	45.07	46.68	48.09	48.12	48.7	1	0.946	0.845	0.822	1.179	1.057
115164.38	14406.05	8735	135	369.75								1	0.466	0.416	0.822	0.818	0.599
112153.77	14495.44	8736	75	362.18								1	0.284	0.254	0.417	0.000	0.100
109485.39	14206.10	8738	95	369.76								1	1.000	0.893	0.524	0.660	0.417
109720.02	13561.41	8739	100	373.71								1	1.318	1.177	0.524	0.250	0.095
113897.23	12974.79	8741	90	374.04		41.79	41.41	42.86	43.79	44.4	45.13	1	1.349	1.205	0.710	0.786	1.101
115705.30	12340.59	8743	100	376.88								1	0.645	0.576	0.721	0.002	0.505
115352.37	21608.61	8747	200	385.27		56.75	57.87	59.77	61.6	62.73	62.92	1	0.249	0.222	1.056	0.804	0.708
108266.60	18837.61	8749	57	350.35		33.91	34.53	36.43	36.55	36.54	37.43	1	0.366	0.327	0.443	0.095	0.000
106290.88	21037.24	8750	50	351.52		38.13	39.77	41.04	39.7	40.48	39.81	1	0.313	0.279	0.000	0.000	0.000
116872.51	15867.46	8801	200	376.00		47.95	48.57	50.4	51.09	52.05	52.73	1	1.036	0.925	0.787	0.688	0.433
116791.75	15313.90	8802	200	376.10		46.2	48.45	50.35	51.73	51.8	52.63	1	0.321	0.287	0.918	0.687	0.522

Coordenadas locales		Pozo	Basamento (m.s.n.m.)	Terreno (m.s.n.m.)	Prof pozo (m)	Profundidad del nivel estático						Zona	Gastos de extracción				
X (m)	Y (m)					1996 (m)	1997 (m)	1998 (m)	1999 (m)	2000 (m)	2001 (m)		1996-1997 (Mm <sup>3</sup> )	1997-1998 (Mm <sup>3</sup> )	1998-1999 (Mm <sup>3</sup> )	1999-2000 (Mm <sup>3</sup> )	2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )
116543.00	14085.52	8804	160	369.92								1	0.420	0.375	0.809	1.003	0.613
116490.34	13443.10	8805	145	374.99								1	1.733	1.547	1.152	1.198	0.813
120823.49	13168.34	8806	200	392.55								1	0.069	0.062	0.450	0.340	0.295
123491.74	13460.48	8807	200	407.18								1	0.357	0.319	1.615	1.833	1.414
116480.82	12146.47	8808	118	379.15	44.44	46.69	48.59	49.91	50.35	50.8		1	1.279	1.142	1.065	1.095	0.497
121783.38	13283.64	8809	200	395.93								1	1.529	1.365	0.939	0.571	0.607
121780.42	12851.43	8810	200	395.27								1	0.569	0.508	0.616	0.604	0.620
122475.18	12663.44	8811	200	403.12	55.65	57.4	59.29	60.82	60.96	60.92		1	1.719	1.535	1.067	0.204	0.330
116531.54	12522.91	8812	125	379.62	46.59	47.54	47.82	49.35	49.91	48.8		1	1.373	1.226	0.567	0.722	0.802
116710.98	14760.35	8813	180	375.61								1	0.549	0.490	1.033	1.220	0.848
123138.60	12288.08	8813a	192	400.75								1	1.006	0.898	0.850	0.726	0.465
123648.19	12473.07	8814	196	402.37								1	0.112	0.100	0.755	1.267	0.812
115700.05	11631.33	10202	95	377.16	41.78	42.23	44.01	44.09	45.9	46.83		1	0.814	0.727	0.891	0.988	0.732
113591.90	10660.76	10205	97	379.75								1	0.331	0.295	0.176	0.183	0.099
118197.36	10748.66	10301	120	386.52	51.62	53.07	54.38	55.87	56.36	56.72		1	0.607	0.542	0.284	0.035	0.015
116243.26	9842.97	10302	95	379.80								1	1.401	1.251	0.000	0.000	0.000
120237.75	8949.89	10304	123	392.78								1	0.306	0.273	0.000	0.000	0.000
121735.52	9094.69	10305	140	398.48	51.45	52.95	54.91	56.14	57.1	58.18		1	0.541	0.483	0.663	0.000	0.096
119276.83	8746.06	10306	112	394.13	52.13	53.4	55.3	56.89	57.48	58.15		1	0.586	0.523	0.337	0.286	0.105
117521.43	8814.03	10307	100	389.75	47.75	48.6	49.6	50.19	51.12	51.55		1	0.405	0.362	0.000	0.000	0.099
125476.25	7440.60	10309	140	415.77								1	0.429	0.384	0.171	0.000	0.000
119233.00	6618.48	10311	120	397.77								1	0.568	0.507	0.640	0.706	0.338
116563.12	8976.16	10312	99	386.98								1	0.328	0.293	0.016	0.002	0.011
122478.48	9710.26	10318	150	400.94	50.46	51.73	53.63	53.71	54.18	54.36		1	0.288	0.257	0.286	0.000	0.000
													625.26	558.33	518.37	448.20	363.91

## ANEXO II

Tarifa para riego agrícola (2003 - 2004) en (\$/kWh)

Tarifa 9: Servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión

Rango	Dic./2003	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
<b>1-5000</b>	0.372	0.379	0.387	0.395	0.403	0.411	0.419	0.427	0.436	0.445	0.454	0.463	0.472	0.424
<b>5001-15000</b>	0.413	0.421	0.429	0.438	0.447	0.456	0.465	0.474	0.483	0.493	0.503	0.513	0.523	0.470
<b>15001-35000</b>	0.453	0.462	0.471	0.48	0.49	0.5	0.51	0.52	0.53	0.541	0.552	0.563	0.574	0.516
<b>Adicional</b>	0.495	0.505	0.515	0.525	0.536	0.547	0.558	0.569	0.58	0.592	0.604	0.616	0.628	0.565

Fuente: CFE (2004)

### ANEXO III

#### FACTORES DE PESO Y GASTO DE EXTRACCIÓN DE LOS POZOS PARA LOS ESCENARIOS UNO Y TRES.

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cnpn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
1	113911.43	14847.71	Pequeña propiedad	8731	0.842	2306.627	2306.627	2306.627	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
2	116490.34	13443.10	Pequeña propiedad	8805	0.813	2228.311	2228.311	2228.311	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
3	99915.79	28418.36	Ejido Santa Rosa	7121	0.812	2225.037	2225.037	2225.037	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
4	115700.05	11631.33	Ejido Cuauhtemoc	10202	0.732	2006.735	2006.735	2006.735	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
5	110704.65	20447.33	Pequeña propiedad	8707	0.698	1912.866	1912.866	1912.866	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
6	99178.42	29500.08	Pequeña propiedad	7119	0.686	1879.575	1879.575	1879.575	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
7	112184.76	18496.19	S. R. P. Viñedos Cardenal	8718	0.682	1869.205	1869.205	1869.205	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
8	101039.08	28718.74	Ejido Santa Rosa	7120	0.674	1846.284	1846.284	1846.284	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
9	110431.52	22267.14	Pequeña propiedad	7207	0.653	1788.434	1788.434	1788.434	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
10	112554.54	15478.73	Pequeña propiedad	8730	0.640	1752.141	1752.141	1752.141	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
11	115169.43	15082.07	Pequeña propiedad	8732	0.624	1709.300	1709.300	1709.300	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
12	115164.38	14406.05	Pequeña propiedad	8735	0.599	1640.808	1640.808	1640.808	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
13	110112.59	15896.83	Pequeña propiedad	8727	0.569	1560.036	1560.036	1560.036	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
14	115705.30	12340.59	Ejido Cuauhtemoc	8743	0.505	1384.576	1384.576	1384.576	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
15	98645.32	26678.54	Ejido Pitiquito	7131	0.492	1348.557	1348.557	1348.557	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
16	113200.46	15928.18	Pequeña propiedad	8728	0.476	1303.259	1303.259	1303.259	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
17	103666.12	22322.87	Pequeña propiedad	7149	0.471	1291.525	1291.525	1291.525	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
18	112169.22	16490.27	Pequeña propiedad	8724	0.458	1255.506	1255.506	1255.506	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
19	109485.39	14206.10	Pequeña propiedad	8738	0.417	1142.262	1142.262	1142.262	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
20	102641.29	26820.52	Pequeña propiedad	7146	0.390	1068.858	1068.858	1068.858	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
21	107905.77	19261.71	S. L. C. E. de R.I. Llano Blanco	8725	0.388	1063.401	1063.401	1063.401	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
22	107107.15	23557.50	Ejido Santa Matilde	7204	0.372	1018.922	1018.922	1018.922	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
23	102500.00	27500.00	S. L. C. A. 6 de abril	7156	0.361	990.270	990.270	990.270	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
24	97980.95	26307.71	Ejido Pitiquito	7133	0.346	948.247	948.247	948.247	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
25	119233.00	6618.48	Pequeña propiedad	10311	0.338	924.779	924.779	924.779	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
26	109923.21	16197.58	Pequeña propiedad	8726	0.314	859.562	859.562	859.562	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
27	104618.27	24985.88	Pequeña propiedad	7141	0.236	646.991	646.991	646.991	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
28	99711.56	27001.47	Pequeña propiedad	7132	0.228	625.706	625.706	625.706	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
29	102438.24	24394.98	Pequeña propiedad	7164	0.211	578.772	578.772	578.772	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
30	119276.83	8746.06	Pequeña propiedad	10306	0.105	287.066	287.066	287.066	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
31	112153.77	14495.44	Ejido Cuauhtemoc	8736	0.100	272.877	272.877	272.877	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
32	113591.90	10660.76	Pequeña propiedad	10205	0.099	272.331	272.331	272.331	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
33	117521.43	8814.03	Pequeña propiedad	10307	0.099	270.148	270.148	270.148	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
34	121735.52	9094.69	Pequeña propiedad	10305	0.096	261.962	261.962	261.962	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
35	109720.02	13561.41	Pequeña propiedad	8739	0.095	259.779	259.779	259.779	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
36	113316.77	17345.92	Pequeña propiedad	8721	0.091	248.045	248.045	248.045	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
37	99886.44	25126.77	Pequeña propiedad	7138	0.027	74.222	74.222	74.222	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
38	118197.36	10748.66	Pequeña propiedad	10301	0.015	40.386	40.386	40.386	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70
39	116563.12	8976.16	Pequeña propiedad	10312	0.011	30.016	30.016	30.016	1	1.0	1.0	1	1	0.7	1	5.70

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cnpp	Cmar	Cpnc	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
40	103106.48	25220.47	Ejido Pitiquito	7140	1.216	3332.370	3332.370	0.000	1	1.0	1.0	1	1	0.7	0.9	5.60
41	114520.05	14167.05	Pequeña propiedad	8734	1.057	2894.949	2894.949	0.000	1	1.0	1.0	1	1	0.7	0.9	5.60
42	113897.23	12974.79	Ejido Cuauhtemoc	8741	1.101	3015.288	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	1	0.7	0.9	5.60
43	111624.90	19232.04	S. R. P. Viñedos Cardenal	8717	0.698	1912.866	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
44	121780.42	12851.43	Pequeña propiedad	8810	0.620	1698.930	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	1	5.60
45	116543.00	14085.52	Pequeña propiedad	8804	0.613	1678.192	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
46	121783.38	13283.64	Pequeña propiedad	8809	0.607	1662.092	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	1	5.60
47	108929.66	21414.65	Pequeña propiedad	8703	0.523	1431.511	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
48	116480.82	12146.47	Pequeña propiedad	8808	0.497	1362.746	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
49	104486.01	21817.14	Pequeña propiedad	8602	0.322	882.483	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
50	120823.49	13168.34	Pequeña propiedad	8806	0.295	807.715	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	1	5.60
51	111607.24	30448.42	S. R. P. de R. I. Morelos del Mo	7215	0.237	649.719	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	1	5.60
52	104065.39	21942.63	Pequeña propiedad	8606	0.236	646.172	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
53	105077.31	22610.15	Pequeña propiedad	7153	0.216	592.688	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
54	100520.38	24223.37	Pequeña propiedad	7145	0.194	532.382	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
55	106658.51	20291.61	Pequeña propiedad	8714	0.075	206.568	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
56	111614.71	31401.53	Ejido 16 de septiembre	7216	0.012	34.110	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	1	5.60
57	100064.92	24726.17	Pequeña propiedad	7142	0.005	13.917	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
58	104969.38	22311.81	Pequeña propiedad	7152	0.0002	0.546	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	1	0.7	1	5.60
59	104596.68	22436.87	Pequeña propiedad	7151	1.305	3574.685	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	1	0.7	0.8	5.50
60	114946.06	17267.09	Pequeña propiedad	8722	0.956	2618.525	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	0.9	5.50
61	104988.51	21170.05	Grupo No. 1 La ventana	8603	0.819	2243.319	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
62	116531.54	12522.91	Pequeña propiedad	8812	0.802	2198.295	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
63	111265.26	19822.26	S. R. P. Viñedos Cardenal	8716	0.739	2024.745	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
64	115352.37	21608.61	Pequeña propiedad	8747	0.708	1940.153	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
65	114800.66	22196.85	Pequeña propiedad	7214	0.704	1929.238	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
66	109779.13	20975.59	Pequeña propiedad	8704	0.550	1506.007	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
67	113596.08	22541.77	Pequeña propiedad	7208	0.503	1379.392	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
68	115065.12	19083.82	Pequeña propiedad	8711	0.467	1280.610	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	0.9	0.7	1	5.50
69	123138.60	12288.08	Pequeña propiedad	8813a	0.465	1274.880	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	0.9	0.7	1	5.50
70	99458.30	25463.10	Ejido Pitiquito	7137	0.456	1249.502	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
71	115466.54	22782.57	Pequeña propiedad	7213	0.436	1195.200	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
72	116872.51	15867.46	Pequeña propiedad	8801	0.433	1187.014	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	0.9	0.7	1	5.50
73	106480.54	20791.83	Pequeña propiedad	8713	0.419	1147.174	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	1	0.7	1	5.50
74	122475.18	12663.44	Pequeña propiedad	8811	0.330	904.586	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
75	115560.12	17329.01	Pequeña propiedad	8723	0.286	782.883	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	0.9	0.7	1	5.50
76	112756.93	26804.16	S. P. R. Los Altareños	7201	0.094	257.050	0.000	0.000	1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.50
77	115069.52	19671.19	Pequeña propiedad	8710	0.004	10.096	0.000	0.000	1	0.9	1.0	1	0.9	0.7	1	5.50
78	115881.25	17969.44	Pequeña propiedad	8720	0.917	0.000	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	0.9	0.7	1	5.40
79	116791.75	15313.90	Pequeña propiedad	8802	0.522	0.000	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	0.9	0.7	1	5.40
80	116710.98	14760.35	Pequeña propiedad	8813	0.848	0.000	0.000	0.000	1	0.8	1.0	1	0.9	0.7	1	5.40
81	123491.74	13460.48	Pequeña propiedad	8807	1.414	0.000	0.000	0.000	1	1.0	1.0	1	0.9	0.7	0.8	5.40
82	123648.19	12473.07	Pequeña propiedad	8814	0.812	0.000	0.000	0.000	1	0.8	1.0	0.9	0.9	0.7	1	5.30
83	69310.15	2929.68	Pequeña propiedad	9821	0.613	1678.192	1678.192	1678.192	2	1.0	1.0	0.9	1	0.8	1	5.70

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								Cnpp	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	
84	79965.40	21465.39	Grupo Hortaliza del desierto	8407	0.777	2128.984	2128.984	2128.984	2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.60
85	66967.62	10228.81	Pequeña propiedad	9805	0.759	2080.139	2080.139	2080.139	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
86	66009.18	7923.55	Pequeña propiedad	9826	0.623	1705.479	1705.479	1705.479	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
87	66742.53	9056.51	Pequeña propiedad	9809	0.572	1567.950	1567.950	1567.950	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
88	64152.78	19407.80	Pequeña propiedad	8237	0.549	1503.551	1503.551	1503.551	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
89	80009.40	22883.72	Pequeña propiedad	6934	0.513	1404.496	1404.496	1404.496	2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.60
90	66050.51	11370.42	Pequeña propiedad	9803	0.507	1388.397	1388.397	1388.397	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
91	65560.41	8117.38	S. R. P. de R. I. Santa Elizabet	9706	0.502	1375.572	1375.572	1375.572	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
92	66717.96	6995.04	Pequeña propiedad	9840	0.476	1303.259	1303.259	1303.259	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
93	63897.92	9523.11	Pequeña propiedad	9707	0.473	1295.073	1295.073	1295.073	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
94	65307.15	7011.95	Pequeña propiedad	9701	0.388	1064.219	1064.219	1064.219	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
95	63882.93	8292.87	S. R. P. de R. I. Fidencio Hernandez	9703	0.385	1055.214	1055.214	1055.214	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
96	67451.94	8183.47	Pequeña propiedad	9814	0.354	970.622	970.622	970.622	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
97	62952.50	8337.50	Grupo Solidario Santa Apolonia	9704	0.350	960.253	960.253	960.253	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
98	66181.16	13463.89	Pequeña propiedad	8316	0.342	936.240	936.240	936.240	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
99	68186.35	6977.64	Pequeña propiedad	9816	0.322	880.846	880.846	880.846	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
100	64937.96	18533.61	Pequeña propiedad	8238	0.319	873.205	873.205	873.205	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	1	5.60
101	79226.23	22249.27	Pequeña propiedad	8403	0.319	872.933	872.933	872.933	2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.60
102	79315.99	25230.01	Ejido Caborca	69117	0.309	845.918	845.918	845.918	2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.60
103	67732.70	9199.93	Grupo Tamazula	9810	1.088	2980.632	2980.632	2980.632	2	1.0	1.0	0.8	1	0.8	0.9	5.50
104	69369.77	8038.97	Pequeña propiedad	9819	0.931	2551.397	2551.397	2551.397	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
105	66673.32	14511.06	Pequeña propiedad	8311	0.571	1564.402	1564.402	1564.402	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
106	68199.41	8085.96	S. L. C. A. Guadalupe Victoria	9815	0.435	1192.198	1192.198	1192.198	2	0.9	1.0	0.8	1	0.8	1	5.50
107	67197.61	13429.58	Pequeña propiedad	8318	0.409	1121.523	1121.523	1121.523	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
108	69357.22	6963.91	Pequeña propiedad	9820	0.365	999.275	999.275	999.275	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
109	80055.73	25410.46	Ejido Caborca	6927	0.314	860.380	860.380	860.380	2	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.50
110	67208.95	14382.73	Pequeña propiedad	8312	0.312	854.377	854.377	854.377	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
111	80582.45	21802.39	Pequeña propiedad	8404	0.304	832.274	832.274	832.274	2	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	1	5.50
112	67919.06	7102.73	Pequeña propiedad	9843	0.286	783.702	783.702	0.000	2	0.9	1.0	0.8	1	0.8	1	5.50
113	68068.22	13230.81	Pequeña propiedad	8319	0.282	771.695	771.695	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
114	80751.45	25059.39	S. L. C. E. Caborca gpo. 9	6929	0.192	526.652	526.652	0.000	2	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	1	5.50
115	68011.19	10028.00	Pequeña propiedad	9806	0.0011	3.002	3.002	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	1	5.50
116	78718.91	22310.20	Pequeña propiedad	8402	0.802	0.000	2196.658	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.9	0.8	1	5.40
117	65500.00	21800.00	Pequeña propiedad	8239	0.678	0.000	1858.290	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.9	0.8	1	5.40
118	66652.23	21561.31	Pequeña propiedad	8301	0.281	0.000	770.877	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.9	0.8	1	5.40
119	84727.76	28753.01	Ejido Caborca	6917	0.154	0.000	422.959	0.000	2	1.0	1.0	1	0.6	0.8	1	5.40
120	67439.20	7108.40	Pequeña propiedad	9825	0.507	0.000	0.000	0.000	2	0.8	1.0	0.8	1	0.8	1	5.40
121	84138.06	26387.08	Pequeña propiedad	6941	0.346	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	1	0.7	0.8	1	5.40
122	81016.13	20223.79	Pequeña propiedad	8409	0.491	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	1	5.40
123	81850.71	18463.63	Pequeña propiedad	8413	0.379	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8	1	5.40
124	67639.62	15109.21	Pequeña propiedad	8310	0.279	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1	5.40
125	69004.57	12909.41	Pequeña propiedad	8320	0.644	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1	5.40
126	71711.14	9674.57	S. L. C. A. Ignacio Zaragoza	9811	0.114	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1	5.40
127	71506.90	8601.71	Pequeña propiedad	9832	0.727	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	1	5.40

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								C <sub>pn</sub>	C <sub>mar</sub>	C <sub>pn</sub>	C <sub>esp</sub>	C <sub>cultivo</sub>	C <sub>gasto</sub>	
128	68209.20	8917.19	S. L.C.A. Guadalupe Victoria	9813	1.157	0.000	0.000	0.000	2	0.8	1.0	0.8	1	0.8	0.9	5.30
129	84946.51	26744.50	Pequeña propiedad	6922	0.245	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	1	0.6	0.8	1	5.30
130	68161.44	21111.01	S. R. P. El Milagro de la River	8303	0.004	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.8	0.8	1	5.30
131	80135.01	20299.72	Pequeña propiedad	8406	1.057	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.9	5.30
132	67504.32	19057.03	Pequeña propiedad	8329	0.386	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.8	0.8	1	5.30
133	66614.25	18391.47	Ejido Celestino Gazca	8325	1.490	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8	5.30
134	70860.04	12422.25	Pequeña propiedad	9801	0.597	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	1	5.30
135	72190.25	9613.66	S. R. P. de R. I. Santa Carlota	9812	0.267	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	1	5.30
136	70382.36	7628.15	Pequeña propiedad	9828	1.488	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8	5.30
137	75710.38	5140.30	Pequeña propiedad	9833	0.662	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	1	5.30
138	82450.80	22647.15	S. P. R. Espinosa	6935	0.440	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
139	83015.15	22541.47	Pequeña propiedad	6936	0.119	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
140	66730.06	19254.71	S. R. P. de R. I. Celestino	8306	1.358	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.9	0.8	0.8	5.20
141	72536.06	17213.72	S. R. P. Rodriguez Adame	8307	0.011	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
142	68285.82	15411.94	Pequeña propiedad	8313	1.208	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	0.9	5.20
143	72627.22	15117.69	Pequeña propiedad	8309	0.890	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
144	73691.70	15105.60	Pequeña propiedad	8322	0.407	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
145	73248.59	14090.84	Pequeña propiedad	8314	0.456	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
146	71056.24	13628.21	Pequeña propiedad	8327	0.428	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
147	72599.42	12679.40	Pequeña propiedad	8326	0.387	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
148	71260.54	10544.34	S. L.C.A. Ignacio Zaragoza	9807	0.213	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	1	5.20
149	71900.55	10293.13	Pequeña propiedad	9823	0.0015	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	1	5.20
150	76176.91	9136.57	S. L.C.E. de R. I. Casas Bugarin	9906	0.605	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
151	75740.72	7877.78	Pequeña propiedad	9835	0.360	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
152	77593.32	7026.09	Pequeña propiedad	9911	0.373	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
153	74572.29	6383.33	Pequeña propiedad	9834	0.349	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
154	75643.78	6061.03	Pequeña propiedad	9830	0.474	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.20
155	76649.49	5861.49	Pequeña propiedad	9919	1.111	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.7	0.8	0.9	5.20
156	82990.66	5494.36	Ejido 6 de abril No. 1	9922	0.173	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.7	0.8	1	5.20
157	78535.18	2704.11	Pequeña propiedad	9908	0.169	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.7	0.8	1	5.20
158	72414.20	6529.62	Pequeña propiedad	9836	1.316	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	5.20
159	73280.44	21118.11	Pequeña propiedad	8328	0.133	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.6	0.8	1	5.10
160	71745.72	12689.17	Pequeña propiedad	8324	0.260	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.10
161	72499.06	11450.17	S. L.C.A. Teniente Juan	9827	0.337	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.10
162	77172.26	9768.50	Pequeña propiedad	9924	0.223	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.10
163	77673.76	9120.13	Pequeña propiedad	9925	0.028	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.10
164	73931.50	8297.03	S. L.C.E. de R. I. Cajeme	9837	0.217	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.10
165	78786.96	6458.92	Pequeña propiedad	9913	0.236	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.6	0.8	1	5.10
166	79700.00	6309.00	Ejido 6 de abril No. 2	9923	0.864	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.7	0.6	0.8	1	5.10
167	77767.74	22974.56	Pequeña propiedad	6932	0.391	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.6	0.8	0.8	1	5.10
168	71419.82	7704.86	Pequeña propiedad	9829	1.695	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7	5.10
169	83726.25	4223.16	Pequeña propiedad	9920	0.002	0.000	0.000	0.000	2	1.0	1.0	0.6	0.7	0.8	1	5.10
170	77103.10	22671.50	Pequeña propiedad	6933	0.0003	0.000	0.000	0.000	2	0.9	1.0	0.6	0.7	0.8	1	5.00
171	71920.60	12044.26	Pequeña propiedad	9822	0.539	0.000	0.000	0.000	2	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.00

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc I (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cnpu	Cmar	Cpnc	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
172	72868.28	11013.67	Pequeña propiedad	9808	0.431	0.000	0.000	0.000	2	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.00
173	74696.75	7213.26	Pequeña propiedad	9831	0.391	0.000	0.000	0.000	2	0.8	1.0	0.8	0.6	0.8	1	5.00
174	93666.38	31989.53	S. R. P. de R. I. Los pitiqueños	7002	0.575	1574.772	1574.772	1574.772	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
175	94184.00	33059.76	S. R. P. de R. I. Los pitiqueños	5501	0.553	1513.920	1513.920	1513.920	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
176	97465.40	30690.50	Pequeña propiedad	7107	0.249	683.283	683.283	683.283	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
177	94709.63	29906.96	Pequeña propiedad	7020	0.171	468.256	468.256	468.256	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
178	94387.62	34343.58	Pequeña propiedad	5508	0.108	296.344	296.344	296.344	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
179	98267.11	31447.97	Pequeña propiedad	7103	0.098	267.146	267.146	267.146	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
180	102865.95	31750.78	Pequeña propiedad	7127	0.092	252.684	252.684	252.684	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
181	92500.00	31700.00	Pequeña propiedad	7007	0.088	241.496	241.496	241.496	3	1.0	1.0	1	1	0.75	1	5.75
182	97071.29	28444.11	Pequeña propiedad	7126	1.049	2875.029	2875.029	2875.029	3	1.0	1.0	1	1	0.75	0.9	5.65
183	94758.07	32001.37	Pequeña propiedad	7003	0.507	1388.397	1388.397	1388.397	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
184	97714.61	31763.35	Pequeña propiedad	7101	0.504	1379.665	1379.665	1379.665	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
185	95908.12	32112.53	Pequeña propiedad	7008	0.416	1138.442	1138.442	1138.442	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
186	95588.36	29654.89	Pequeña propiedad	7021	0.300	820.813	820.813	820.813	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
187	89582.23	30510.64	Pequeña propiedad	7033	0.217	594.871	594.871	594.871	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
188	89500.00	29300.00	Pequeña propiedad	7030	0.196	535.930	535.930	535.930	3	1.0	1.0	1	0.9	0.75	1	5.65
189	93486.47	32201.84	Pequeña propiedad	7012	0.187	511.644	511.644	511.644	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
190	98894.42	29868.40	Pequeña propiedad	7115	0.174	475.897	475.897	475.897	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
191	93811.88	30170.38	Pequeña propiedad	7019	0.133	365.655	365.655	365.655	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
192	93737.59	30414.93	Pequeña propiedad	7034	0.129	354.740	354.740	354.740	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
193	95527.58	31351.29	Pequeña propiedad	7010	0.114	313.262	313.262	313.262	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
194	93169.68	32116.19	Pequeña propiedad	7004	0.074	202.475	202.475	202.475	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
195	89053.80	30338.53	Pequeña propiedad	7040	0.047	129.071	129.071	129.071	3	0.9	1.0	1	1	0.75	1	5.65
196	95179.83	34092.27	Pequeña propiedad	5507	0.032	88.412	88.412	88.412	3	1.0	1.0	0.9	1	0.75	1	5.65
197	91305.32	29451.84	Pequeña propiedad	7048	0.0013	3.547	3.547	3.547	3	1.0	1.0	1	0.9	0.75	1	5.65
198	95477.59	32149.79	Pequeña propiedad	7006	0.913	2501.734	2501.734	2501.734	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
199	95706.62	31039.27	Pequeña propiedad	7011	0.908	2488.636	2488.636	2488.636	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
200	93068.77	30576.48	Pequeña propiedad	7017	0.888	2433.787	2433.787	2433.787	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
201	65094.95	25149.47	Pequeña propiedad	6737	0.568	1555.397	1555.397	1555.397	3	1.0	1.0	0.8	1	0.75	1	5.55
202	79327.75	26316.16	Ejido Caborca	6923	0.557	1525.381	1525.381	0.000	3	1.0	1.0	0.9	0.9	0.75	1	5.55
203	94927.81	32742.40	S. R. P. de R. I. Los pitiqueños	5502	0.554	1518.286	1518.286	0.000	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
204	97470.17	31211.40	Pequeña propiedad	7105	0.535	1464.529	1464.529	0.000	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
205	95930.85	29407.85	Pequeña propiedad	7022	0.371	1015.647	1015.647	0.000	3	0.8	1.0	1	1	0.75	1	5.55
206	91237.94	28432.77	Pequeña propiedad	7023	0.235	643.443	643.443	0.000	3	1.0	1.0	1	0.8	0.75	1	5.55
207	65007.48	26624.85	Pequeña propiedad	6723	0.142	390.214	390.214	0.000	3	1.0	1.0	0.8	1	0.75	1	5.55
208	79603.42	29660.69	Pequeña propiedad	6902	0.142	389.395	389.395	0.000	3	1.0	1.0	0.9	0.9	0.75	1	5.55
209	79839.16	27541.01	Ejido Calera Gpo5	6921	0.093	253.775	253.775	0.000	3	1.0	1.0	0.9	0.9	0.75	1	5.55
210	94177.81	32405.87	Pequeña propiedad	5504	0.793	0.000	0.000	0.000	3	0.7	1.0	1	1	0.75	1	5.45
211	82098.75	29234.96	Pequeña propiedad	6904	0.030	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.9	0.8	0.75	1	5.45
212	81380.06	26504.74	Ejido Calera Gpo7	6925	0.214	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.9	0.8	0.75	1	5.45
213	64845.88	30661.82	Pequeña propiedad	6769	0.184	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.8	0.9	0.75	1	5.45
214	80300.00	29100.00	Pequeña propiedad	6910	0.116	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.75	1	5.35
215	98110.99	29022.05	Pequeña propiedad	7124	1.529	0.000	0.000	0.000	3	0.8	1.0	1	1	0.75	0.8	5.35

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc I (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								Cpnn	Cmar	Cpnc	Cesp	Ccultivo	Cgasto	
216	67291.93	28570.45	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6803	0.900	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.9	0.75	1	5.35
217	68487.75	28434.29	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6804	0.832	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.7	0.75	1	5.15
218	68211.06	29335.45	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6802	0.384	0.000	0.000	0.000	3	0.9	1.0	0.7	0.8	0.75	1	5.15
219	69503.82	28488.81	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6805	0.314	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	1	5.05
220	68775.90	27688.19	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6832	0.385	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	1	5.05
221	72390.18	25406.97	Pequeña propiedad	6823	0.034	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	1	5.05
222	70785.09	24161.83	Pequeña propiedad	6828	0.718	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	1	5.05
223	71092.69	23415.58	Pequeña propiedad	6814	0.779	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	1	5.05
224	69438.41	27813.40	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6830	1.014	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	0.9	4.95
225	71663.84	26401.87	Pequeña propiedad	6831	1.072	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	0.9	4.95
226	69834.03	24782.58	Pequeña propiedad	6824	0.335	0.000	0.000	0.000	3	0.9	1.0	0.7	0.6	0.75	1	4.95
227	72544.17	24629.27	Pequeña propiedad	6811	0.224	0.000	0.000	0.000	3	0.9	1.0	0.7	0.6	0.75	1	4.95
228	75225.52	23612.37	Pequeña propiedad	6829	1.309	0.000	0.000	0.000	3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.75	0.8	4.85
229	69904.20	24227.52	Pequeña propiedad	6825	0.463	0.000	0.000	0.000	3	0.8	1.0	0.7	0.6	0.75	1	4.85
230	72642.60	24018.49	Pequeña propiedad	6808	0.576	0.000	0.000	0.000	3	0.8	1.0	0.7	0.6	0.75	1	4.85
231	68290.18	29545.13	S. R. P. de R. I. Viñedos Viva	6801	1.809	0.000	0.000	0.000	3	0.8	1.0	0.7	0.8	0.75	0.7	4.75
232	50734.35	33991.55	Pequeña propiedad	5105	0.972	2663.822	2663.822	2663.822	4	1.0	1.0	1	1	0.85	0.9	5.75
233	62380.52	18753.38	Pequeña propiedad	8218	0.566	1550.213	1550.213	1550.213	4	1.0	1.0	0.9	1	0.85	1	5.75
234	48703.63	35338.45	Pequeña propiedad	5104	0.164	448.882	448.882	448.882	4	1.0	0.9	1	1	0.85	1	5.75
235	59516.02	19709.27	Pequeña propiedad	8214	0.942	2581.414	2581.414	2581.414	4	1.0	1.0	0.9	0.9	0.85	1	5.65
236	38938.78	41973.65	Pequeña propiedad	5006	0.854	2340.464	2340.464	2340.464	4	1.0	0.9	0.9	1	0.85	1	5.65
237	61580.61	26888.78	Pequeña propiedad	6724	0.808	2213.849	2213.849	2213.849	4	1.0	1.0	0.9	0.9	0.85	1	5.65
238	39534.52	42796.43	Pequeña propiedad	5001	0.767	2100.878	2100.878	2100.878	4	1.0	0.9	0.9	1	0.85	1	5.65
239	62242.97	16161.17	Pequeña propiedad	8230	0.547	1498.093	1498.093	1498.093	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
240	63631.12	18305.67	Pequeña propiedad	8220	0.508	1391.671	1391.671	1391.671	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
241	62149.22	19432.44	Pequeña propiedad	8216	0.395	1082.993	1082.993	1082.993	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
242	63457.63	15104.22	Pequeña propiedad	8226	0.336	920.686	920.686	920.686	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
243	62439.56	14994.81	Pequeña propiedad	8229	0.299	818.630	818.630	818.630	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
244	48438.00	34308.00	Pequeña propiedad	5127	0.257	702.930	702.930	702.930	4	1.0	0.9	1	0.9	0.85	1	5.65
245	61528.79	18885.89	Pequeña propiedad	8215	0.162	442.606	442.606	442.606	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
246	53708.43	33696.77	Pequeña propiedad	5111	0.156	427.052	427.052	427.052	4	1.0	1.0	0.9	0.9	0.85	1	5.65
247	63339.64	14085.85	Pequeña propiedad	8228	0.013	35.474	35.474	35.474	4	1.0	1.0	0.8	1	0.85	1	5.65
248	60271.58	30973.53	Pequeña propiedad	6707	0.907	2484.542	2484.542	2484.542	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
249	37671.88	41072.10	S. L. C. E. de R.I. José María M	5007	0.816	2236.225	2236.225	2236.225	4	1.0	0.9	0.9	0.9	0.85	1	5.55
250	53009.09	27187.62	Ejido Laguna Prieta	6611	0.598	1637.260	1637.260	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
251	56909.62	25773.02	Ejido Francisco Merino	6732	0.594	1626.345	1626.345	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
252	38178.01	40998.11	S. L. C. E. de R.I. José María M	5008	0.519	1422.779	1422.779	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.9	0.85	1	5.55
253	57484.70	27273.24	S. R. P. de R. I. Pampono	6718	0.505	1384.031	1384.031	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
254	58299.62	26564.40	Pequeña propiedad	6727	0.199	545.481	545.481	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
255	53505.82	26349.61	Ejido Laguna Prieta	6612	0.057	155.813	155.813	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
256	59526.53	20540.54	Pequeña propiedad	8212	0.689	1888.307	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
257	60393.37	19332.41	Pequeña propiedad	8222	0.671	1839.189	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
258	60279.28	18646.56	Pequeña propiedad	8221	0.671	1838.098	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
259	60088.11	27062.70	Pequeña propiedad	6766	0.640	1754.597	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cnpp	Cmar	Cpnc	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
260	59588.30	18599.83	Pequeña propiedad	8224	0.625	1712.301	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
261	60416.41	23455.83	Pequeña propiedad	6754	0.511	1400.949	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
262	63274.51	19717.85	Pequeña propiedad	8217	0.483	1323.725	0.000	0.000	4	0.9	1.0	0.8	1	0.85	1	5.55
263	62748.35	24468.78	Pequeña propiedad	6744	0.397	1088.778	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	1	5.55
264	57311.61	22009.87	Pequeña propiedad	8202	0.326	892.307	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
265	57897.85	30349.70	Pequeña propiedad	6767	0.258	707.569	0.000	0.000	4	0.9	1.0	0.9	0.9	0.85	1	5.55
266	56552.04	23316.66	Pequeña propiedad	6749	0.0003	0.819	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	1	5.55
267	39795.00	40974.41	Ejido El Coyote	5009	0.031	83.773	0.000	0.000	4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.85	1	5.45
268	63921.22	28677.79	Pequeña propiedad	6711	0.711	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.7	0.9	0.85	1	5.45
269	58367.73	27394.94	Pequeña propiedad	6717	1.041	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	0.9	5.45
270	61015.02	22273.29	Pequeña propiedad	8204	0.272	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.7	0.9	0.85	1	5.45
271	63643.89	19347.51	Pequeña propiedad	8201	0.836	0.000	0.000	0.000	4	0.8	1.0	0.8	1	0.85	1	5.45
272	55507.92	32908.18	Pequeña propiedad	5106	0.505	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.45
273	56420.69	31665.78	Pequeña propiedad	6770	0.488	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.45
274	56359.53	28429.58	Pequeña propiedad	6713	0.779	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.7	0.85	1	5.45
275	55764.41	27605.90	Pequeña propiedad	6613	0.615	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.7	0.85	1	5.45
276	59427.81	27126.48	S. R. P. Alfonso Glez	6719	0.349	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.45
277	59728.68	23641.87	Pequeña propiedad	6752	0.525	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.45
278	39239.25	40927.10	Ejido El Coyote	5011	0.672	0.000	0.000	0.000	4	0.8	0.9	0.9	0.9	0.85	1	5.35
279	40205.42	39582.61	Pequeña propiedad	5016	0.217	0.000	0.000	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.7	0.85	1	5.35
280	54456.08	33753.41	Pequeña propiedad	5108	1.315	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.9	0.85	0.8	5.35
281	58291.93	31952.05	Ejido San Pedro	6703	0.665	0.000	0.000	0.000	4	0.9	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.35
282	57644.81	31528.02	Pequeña propiedad	6702	0.695	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.7	0.85	1	5.35
283	55849.45	26041.72	Pequeña propiedad	6614	1.213	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.7	0.85	0.9	5.35
284	57986.37	20803.99	Pequeña propiedad	8211	0.318	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.7	0.8	0.85	1	5.35
285	38289.78	39488.66	Pequeña propiedad	5015	0.523	0.000	0.000	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.6	0.85	1	5.25
286	37513.84	39444.67	Pequeña propiedad	5014	1.069	0.000	0.000	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.7	0.85	0.9	5.25
287	35278.50	39101.00	Pequeña propiedad	4938	0.461	0.000	0.000	0.000	4	0.9	0.9	0.9	0.7	0.85	1	5.25
288	59527.30	31193.57	Ejido Villa Centauro del Norte	6706	0.954	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.8	0.7	0.85	0.9	5.25
289	58310.29	31142.57	Ejido Juan Escutia Sector 2	6705	0.871	0.000	0.000	0.000	4	0.8	1.0	0.8	0.8	0.85	1	5.25
290	55439.00	28549.00	Pequeña propiedad	6615	1.707	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.8	0.85	0.7	5.25
291	39487.73	39593.06	Pequeña propiedad	5013	1.521	0.000	0.000	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.7	0.85	0.8	5.15
292	35360.70	39476.72	Pequeña propiedad	4910	0.804	0.000	0.000	0.000	4	0.8	0.9	0.9	0.7	0.85	1	5.15
293	35272.52	38701.96	Pequeña propiedad	4923	1.299	0.000	0.000	0.000	4	1.0	0.9	0.9	0.7	0.85	0.8	5.15
294	56318.43	27476.75	Pequeña propiedad	6716	1.753	0.000	0.000	0.000	4	1.0	1.0	0.9	0.7	0.85	0.7	5.15
295	57974.04	30315.47	Pequeña propiedad	6709	0.917	0.000	0.000	0.000	4	0.8	1.0	0.7	0.6	0.85	1	4.95
296	50749.64	35122.11	Pequeña propiedad	5124	0.922	2526.020	2526.020	2526.020	5	1.0	1.0	0.9	1	0.95	1	5.85
297	48714.58	36136.49	Pequeña propiedad	5103	0.770	2109.883	2109.883	2109.883	5	1.0	0.9	1	1	0.95	1	5.85
298	47924.39	36457.78	Pequeña propiedad	5102	0.630	1727.310	1727.310	1727.310	5	1.0	0.9	1	1	0.95	1	5.85
299	52720.90	35040.20	Pequeña propiedad	5112	0.486	1330.820	1330.820	1330.820	5	1.0	1.0	0.9	1	0.95	1	5.85
300	45357.71	45240.64	Pequeña propiedad	3515	0.926	2538.299	2538.299	2538.299	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
301	39425.09	46434.49	S. L. C. E. de R.I. Diamante	3523	0.851	2332.823	2332.823	2332.823	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
302	45458.13	44219.27	Pequeña propiedad	3517	0.794	2174.282	2174.282	2174.282	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
303	51649.42	36528.98	S. L. C. E. de R.I. Santa Eduwig	5101	0.700	1918.596	1918.596	1918.596	5	1.0	1.0	0.9	0.9	0.95	1	5.75

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cpnn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
304	40549.00	43659.00	Ejido El Coyote	3510	0.511	1399.858	1399.858	1399.858	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
305	39365.10	45603.86	S. L. C. E. de R.I. Diamante	3520	0.447	1223.579	1223.579	1223.579	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
306	37579.00	45142.34	S. L. C. E. de R.I. José María M	3526	0.334	914.137	914.137	914.137	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
307	36629.13	42384.72	S. L. C. E. de R.I. José María M	5004	0.132	362.653	362.653	362.653	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
308	38555.37	45183.36	Pequeña propiedad	3525	0.057	155.267	155.267	155.267	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	1	5.75
309	39727.25	44855.75	Ejido Torrentera	3514	1.078	2953.345	2953.345	2953.345	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.9	5.65
310	41500.00	42245.21	Ejido El Coyote	5010	0.556	1522.652	1522.652	1522.652	5	0.9	0.9	0.9	1	0.95	1	5.65
311	50484.19	43074.41	S. L. C. E. de R.I. Almita	3608	0.550	1506.825	1506.825	1506.825	5	1.0	1.0	0.7	1	0.95	1	5.65
312	44134.21	43284.54	Ejido El Coyote	3513	0.430	1179.373	1179.373	1179.373	5	0.9	0.9	0.9	1	0.95	1	5.65
313	41914.80	43970.36	Ejido El Coyote	3505	0.340	931.328	931.328	931.328	5	0.9	0.9	0.9	1	0.95	1	5.65
314	42939.92	43401.32	Ejido El Coyote	3512	0.333	911.135	911.135	911.135	5	0.9	0.9	0.9	1	0.95	1	5.65
315	54504.66	35260.44	Pequeña propiedad	5125	0.846	2316.450	2316.450	2316.450	5	1.0	1.0	0.8	0.9	0.95	1	5.65
316	53513.21	37025.11	Pequeña propiedad	5117	0.728	1993.910	1993.910	1993.910	5	1.0	1.0	0.8	0.9	0.95	1	5.65
317	53724.44	34904.91	S. R. P. de R. I. El Samuray	5107	0.610	1671.370	1671.370	1671.370	5	1.0	1.0	0.8	0.9	0.95	1	5.65
318	43891.99	46436.55	Pequeña propiedad	3519	0.596	1633.713	1633.713	1633.713	5	1.0	0.9	0.9	0.9	0.95	1	5.65
319	44799.53	47033.43	Pequeña propiedad	3504	0.486	1331.093	1331.093	1331.093	5	1.0	0.9	0.9	0.9	0.95	1	5.65
320	45144.21	48414.38	Pequeña propiedad	3502	0.299	820.267	820.267	820.267	5	1.0	0.9	0.9	0.9	0.95	1	5.65
321	57300.00	35480.00	Grupo Exportadora de Caborca	5230	1.191	3263.605	3263.605	3263.605	5	1.0	1.0	0.7	1	0.95	0.9	5.55
322	42804.46	42627.20	Ejido El Coyote	5003	1.015	2780.341	2780.341	2780.341	5	0.9	0.9	0.9	1	0.95	0.9	5.55
323	46200.00	44500.00	Pequeña propiedad	3528	1.398	3830.370	3830.370	3830.370	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.8	5.55
324	45978.42	41750.79	Pequeña propiedad	5018	1.351	3701.845	3701.845	3701.845	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.8	5.55
325	46727.28	41928.80	S. R. P. de R. I. 25 de enero	5114	1.320	3615.616	3615.616	3615.616	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.8	5.55
326	38527.81	43310.10	S. L. C. E. de R.I. José María M	3511	1.311	3592.695	3592.695	3592.695	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.8	5.55
327	43338.44	45180.57	Pequeña propiedad	3503	1.218	3335.918	3335.918	3335.918	5	1.0	0.9	0.9	0.9	0.95	0.9	5.55
328	54681.99	36366.68	Pequeña propiedad	5118	1.181	3234.953	3234.953	3234.953	5	1.0	1.0	0.8	0.9	0.95	0.9	5.55
329	41314.82	42837.09	Ejido El Coyote	5002	0.827	2267.060	2267.060	2267.060	5	0.8	0.9	0.9	1	0.95	1	5.55
330	44516.85	43955.39	Pequeña propiedad	3516	0.792	2168.824	2168.824	2168.824	5	0.8	0.9	0.9	1	0.95	1	5.55
331	55941.19	37492.01	Pequeña propiedad	5120	0.756	2071.680	2071.680	2071.680	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.55
332	53396.46	38323.71	Pequeña propiedad	5126	0.748	2050.123	2050.123	2050.123	5	1.0	1.0	0.8	0.8	0.95	1	5.55
333	61094.28	34710.05	Pequeña propiedad	5216	0.666	1825.545	1825.545	1825.545	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.55
334	42868.15	43734.95	Ejido El Coyote	3508	0.648	1775.609	1775.609	1775.609	5	0.8	0.9	0.9	1	0.95	1	5.55
335	58640.50	34497.26	Grupo Comisión Nacional de fruticultu	5214	0.539	1477.900	1477.900	1477.900	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.55
336	41906.34	43382.89	Ejido El Coyote	3507	0.513	1405.042	1405.042	1405.042	5	0.8	0.9	0.9	1	0.95	1	5.55
337	52277.68	41974.84	Pequeña propiedad	5113	0.492	1346.919	1346.919	1346.919	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.55
338	59637.09	35315.98	S. R. P. Luis Guerrero	5219	0.329	902.676	902.676	902.676	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.55
339	40470.55	48603.33	S. L. C. E. de R.I. Diamante	3522	0.063	171.639	171.639	171.639	5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	1	5.55
340	46250.64	42057.40	Pequeña propiedad	5024	1.618	0.000	4431.791	4431.791	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.7	5.45
341	39520.24	43783.36	Ejido Torrentera	3506	1.590	0.000	4354.839	4354.839	5	1.0	0.9	0.9	1	0.95	0.7	5.45
342	42234.31	42236.26	Ejido El Coyote	5005	1.058	2899.042	2899.042	2899.042	5	0.8	0.9	0.9	1	0.95	0.9	5.45
343	57300.00	34500.00	Grupo Exportadora de Caborca	5231	1.052	0.000	2882.670	2882.670	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	0.9	5.45
344	58669.71	36780.52	Pequeña propiedad	5206	0.911	0.000	2496.822	2496.822	5	1.0	1.0	0.6	0.9	0.95	1	5.45
345	57515.73	33403.14	S. R. P. de R. I. La almita	5201	0.851	0.000	2330.367	2330.367	5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.95	1	5.45
346	62154.66	34519.41	Ejido Jesús García	5211	0.716	0.000	1961.984	1961.984	5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.95	1	5.45
347	62281.41	31624.56	Ejido Jesús García	6771	0.579	0.000	1585.414	1585.414	5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.95	1	5.45

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc I (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								C <sub>apn</sub>	C <sub>mar</sub>	C <sub>pne</sub>	C <sub>esp</sub>	C <sub>cultivo</sub>	C <sub>gasto</sub>	Suma
348	40893.98	48785.65	S. L. C. E. de R.I. Diamante	3524	0.258	0.000	707.569	707.569	5	0.8	0.9	0.9	0.9	0.95	1	5.45
349	55896.94	34100.36	Pequeña propiedad	5119	0.919	0.000	2518.925	2518.925	5	0.9	1.0	0.7	0.9	0.95	1	5.45
350	58383.00	33081.61	Ejido Guillermo Prieto	5202	1.206	0.000	3304.537	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.95	0.9	5.35
351	59610.92	33254.41	Pequeña propiedad	5212	0.977	0.000	2677.466	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.95	0.9	5.35
352	58573.00	37300.00	Pequeña propiedad	5233	0.800	0.000	2191.473	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.8	0.95	1	5.35
353	62459.31	44370.58	Grupo Agroindustrial Sonora	3706	0.729	0.000	1998.549	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.7	0.95	1	5.35
354	59661.02	37200.22	Grupo Exportadora de Caborca	5220	0.547	0.000	1497.275	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.8	0.95	1	5.35
355	54250.00	38800.00	Pequeña propiedad	5130	1.086	0.000	2974.356	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.7	0.95	0.9	5.25
356	55154.27	34420.47	Pequeña propiedad	5123	0.969	0.000	2654.545	0.000	5	0.8	1.0	0.7	0.9	0.95	0.9	5.25
357	54312.17	44597.28	Pequeña propiedad	3607	0.293	0.000	803.076	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.7	0.95	1	5.25
358	63420.86	40135.08	Pequeña propiedad	5218	0.597	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.6	0.95	1	5.25
359	57365.17	36375.58	Pequeña propiedad	5221	1.363	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.9	0.95	0.8	5.25
360	55189.00	35602.00	Pequeña propiedad	5128	1.967	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.9	0.95	0.7	5.25
361	62473.84	45534.38	Grupo Agroindustrial Sonora	3707	0.535	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.15
362	62077.44	43665.88	Grupo Agroindustrial Sonora	3705	1.134	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.6	0.95	0.9	5.15
363	61198.11	42967.44	Grupo Agroindustrial Sonora	3701	0.461	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.15
364	59248.10	42349.19	Ejido México 68 sector 2	5205	0.420	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.15
365	60815.26	42196.27	Grupo Agroindustrial Sonora	5210	0.681	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.15
366	60078.68	40697.95	Grupo Agroindustrial Sonora	5228	0.582	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.15
367	56600.00	38317.00	Grupo Las Tres Californias	5229	1.452	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.8	0.95	0.8	5.15
368	57748.88	37379.88	Pequeña propiedad	5207	1.977	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.9	0.95	0.7	5.15
369	60035.33	41807.06	Grupo Agroindustrial Sonora	5227	0.998	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	5.05
370	59980.00	41357.00	Pequeña propiedad	5234	0.994	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	5.05
371	57713.60	39098.61	Ejido Juan Escutia Sector 2	5217	1.237	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	5.05
372	61167.84	40562.26	Grupo Agroindustrial Sonora	5222	0.433	0.000	0.000	0.000	5	0.9	1.0	0.6	0.6	0.95	1	5.05
373	55152.00	39342.00	Pequeña propiedad	5129	1.413	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.7	0.6	0.95	0.8	5.05
374	56949.23	39197.18	Grupo Exportadora de Caborca	5223	1.125	0.000	0.000	0.000	5	0.9	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	4.95
375	59306.97	38712.36	Grupo Exportadora de Caborca	5213	1.022	0.000	0.000	0.000	5	0.9	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	4.95
376	61115.88	40995.25	Grupo Agroindustrial Sonora	5226	1.105	0.000	0.000	0.000	5	0.8	1.0	0.6	0.6	0.95	0.9	4.85
377	57762.73	38455.01	Pequeña propiedad	5215	2.250	0.000	0.000	0.000	5	1.0	1.0	0.6	0.7	0.95	0.6	4.85
378	56470.78	39203.40	Grupo Las Tres Californias	5225	1.505	0.000	0.000	0.000	5	0.8	1.0	0.6	0.6	0.95	0.8	4.75
379	59250.08	38003.61	Grupo Exportadora de Caborca	5209	1.665	0.000	0.000	0.000	5	0.8	1.0	0.6	0.7	0.95	0.7	4.75
380	17575.94	45823.16	S. R. P. de R. I. Juan Jiménez II	3313	0.908	2488.363	2488.363	2488.363	6	1.0	0.8	1	1	1	1	5.80
381	36131.72	46239.30	S. L. C. E. de R.I. José María M	3433	0.811	2223.127	2223.127	2223.127	6	1.0	0.9	0.9	1	1	1	5.80
382	30779.20	48992.70	Pequeña propiedad	3405	0.769	2106.881	2106.881	2106.881	6	1.0	0.9	0.9	1	1	1	5.80
383	31639.57	47726.57	Grupo Agroindustrial Sonora	3446	0.673	1843.555	1843.555	1843.555	6	1.0	0.9	0.9	1	1	1	5.80
384	34253.91	48573.66	S. R. P Las Dunas	3442	0.448	1226.035	1226.035	1226.035	6	1.0	0.9	0.9	1	1	1	5.80
385	21792.13	48581.07	Pequeña propiedad	3307	0.438	1198.747	1198.747	1198.747	6	1.0	0.8	1	1	1	1	5.80
386	35180.00	48482.65	Pequeña propiedad	3439	0.184	503.458	503.458	503.458	6	1.0	0.9	0.9	1	1	1	5.80
387	21345.50	55185.71	Pequeña propiedad	1806	0.183	501.275	501.275	501.275	6	1.0	0.8	1	1	1	1	5.80
388	20894.27	47486.95	Ejido Martires de Cananea	3333	0.896	2453.435	2453.435	2453.435	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
389	27274.26	45665.78	Pequeña propiedad	3447	0.835	2286.980	2286.980	2286.980	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
390	24442.49	48050.33	Pequeña propiedad	3309	0.734	2011.374	2011.374	2011.374	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
391	32883.58	44004.40	Pequeña propiedad	3425	0.700	1918.323	1918.323	1918.323	6	1.0	0.9	0.8	1	1	1	5.70

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cpqn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
392	28792.17	46074.35	Ejido Durango No. 2	3415	0.682	1869.205	1869.205	1869.205	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
393	18452.14	50764.97	Pequeña propiedad	3302	0.669	1833.186	1833.186	1833.186	6	0.9	0.8	1	1	1	1	5.70
394	19202.43	46406.00	Pequeña propiedad	3336	0.644	1764.967	1764.967	1764.967	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
395	30223.01	42105.00	Pequeña propiedad	4940	0.613	1678.192	1678.192	1678.192	6	1.0	0.9	0.8	1	1	1	5.70
396	19617.08	45445.58	S. R. P. de R. I. Juan Jiménez II	3314	0.602	1649.540	1649.540	1649.540	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
397	22591.50	43611.82	S. R. P. de R. I. Juan Escutia	3323	0.600	1644.082	1644.082	1644.082	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
398	33501.84	44394.13	Pequeña propiedad	3423	0.596	1632.894	1632.894	1632.894	6	1.0	0.9	0.8	1	1	1	5.70
399	27615.54	47290.26	Grupo Inmobiliaria La Mezquitera	3407	0.588	1609.973	1609.973	1609.973	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
400	23697.26	43350.03	Pequeña propiedad	3328	0.585	1603.696	1603.696	1603.696	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
401	30357.19	47679.84	Pequeña propiedad	3408	0.511	1399.312	1399.312	1399.312	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
402	30977.00	46317.60	Pequeña propiedad	3451	0.456	1250.321	1250.321	1250.321	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
403	26768.41	49365.93	S. R. P. Arcega Martínez	3402	0.439	1202.568	1202.568	1202.568	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
404	32374.84	47648.76	Grupo Agroindustrial Sonora	3412	0.312	854.104	854.104	854.104	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
405	30403.61	45117.95	Pequeña propiedad	3444	0.271	743.043	743.043	743.043	6	1.0	0.9	0.8	1	1	1	5.70
406	26230.74	46824.31	Pequeña propiedad	3331	0.271	741.952	741.952	741.952	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
407	33834.29	45497.80	Pequeña propiedad	3417	0.260	712.481	712.481	712.481	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
408	32771.64	42309.77	Pequeña propiedad	4903	0.251	686.831	686.831	686.831	6	1.0	0.9	0.8	1	1	1	5.70
409	21400.00	46900.00	Pequeña propiedad	3337	0.190	521.740	521.740	521.740	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
410	34086.98	46392.02	Pequeña propiedad	3413	0.172	471.258	471.258	471.258	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
411	31769.24	46205.62	Pequeña propiedad	3416	0.128	350.374	350.374	350.374	6	0.9	0.9	0.9	1	1	1	5.70
412	26695.84	47803.73	Ejido Rodolfo Campodonico	3437	0.006	16.373	16.373	16.373	6	1.0	0.8	0.9	1	1	1	5.70
413	18940.54	55990.47	Ejido Santa Silvia	1801	0.485	1327.818	1327.818	1327.818	6	1.0	0.8	1	0.9	1	1	5.70
414	23869.93	47538.41	Pequeña propiedad	3305	1.066	2920.599	2920.599	2920.599	6	1.0	0.8	0.9	1	1	0.9	5.60
415	15576.04	45235.77	Ejido Cerro La Herradura	3219	0.980	2684.015	2684.015	2684.015	6	1.0	0.7	1	1	1	0.9	5.60
416	34214.00	41164.00	Pequeña propiedad	4906	1.070	2932.333	2932.333	2932.333	6	1.0	0.9	0.9	0.9	1	0.9	5.60
417	31862.46	46669.85	Pequeña propiedad	3414	0.899	2464.077	2464.077	2464.077	6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	5.60
418	24751.65	47646.21	Pequeña propiedad	3306	0.874	2394.766	2394.766	2394.766	6	0.9	0.8	0.9	1	1	1	5.60
419	18444.03	50277.22	Pequeña propiedad	3301	0.816	2234.860	2234.860	2234.860	6	0.8	0.8	1	1	1	1	5.60
420	34900.00	46290.00	Pequeña propiedad	3452	0.775	2122.708	2122.708	2122.708	6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	5.60
421	32606.45	47157.38	Grupo Agroindustrial Sonora	3419	0.755	2069.224	2069.224	2069.224	6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	5.60
422	30555.73	46911.74	Grupo Agroindustrial Sonora	3411	0.489	1339.552	1339.552	1339.552	6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	5.60
423	33750.38	45011.24	Pequeña propiedad	3420	0.418	1145.809	1145.809	1145.809	6	0.8	0.9	0.9	1	1	1	5.60
424	21362.55	45117.57	Pequeña propiedad	3334	0.333	911.681	911.681	911.681	6	0.9	0.8	0.9	1	1	1	5.60
425	19270.38	55131.21	Ejido Santa Silvia	1804	0.269	735.948	735.948	735.948	6	0.9	0.8	1	0.9	1	1	5.60
426	26332.06	48386.05	Ejido Rodo	3308a	0.020	54.030	54.030	54.030	6	0.9	0.8	0.9	1	1	1	5.60
427	18954.97	44170.31	Ejido Rodo	3308	0.019	53.211	53.211	53.211	6	0.9	0.8	0.9	1	1	1	5.60
428	29711.76	45538.91	Pequeña propiedad	3418	0.016	43.660	43.660	43.660	6	0.9	0.8	0.9	1	1	1	5.60
429	22498.02	46108.08	Pequeña propiedad	3312	1.443	3952.346	3952.346	3952.346	6	1.0	0.8	0.9	1	1	0.8	5.50
430	29453.30	47960.72	Pequeña propiedad	3406	1.380	3781.253	3781.253	3781.253	6	1.0	0.8	0.9	1	1	0.8	5.50
431	30060.68	47063.55	Pequeña propiedad	3410	1.131	3099.879	3099.879	3099.879	6	0.8	0.9	0.9	1	1	0.9	5.50
432	25327.75	45386.21	Pequeña propiedad	3332	1.036	2838.191	2838.191	0.000	6	0.9	0.8	0.9	1	1	0.9	5.50
433	33436.53	43874.03	Pequeña propiedad	3426	0.975	2671.736	2671.736	0.000	6	0.9	0.9	0.8	1	1	0.9	5.50
434	24064.98	44796.60	S. R. P. José Manuel Palacios	3316	0.919	2517.015	2517.015	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	1	5.50
435	18157.86	43995.03	Pequeña propiedad	3319	0.744	2038.116	2038.116	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	1	5.50

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						
	x	y								Cnbn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	Suma
436	26759.10	48778.44	Ejido Adolfo Oribe de Alba	3404	0.685	1876.573	1876.573	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	1	5.50
437	21448.48	45692.74	S. R. P. de R. I. Antonio Montiel	3310	0.556	1522.652	1522.652	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	1	5.50
438	24887.76	44195.77	Pequeña propiedad	3324	0.490	1342.553	1342.553	0.000	6	0.9	0.8	0.8	1	1	1	5.50
439	18672.03	44418.93	Pequeña propiedad	3317	0.477	1307.352	1307.352	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	1	5.50
440	27817.31	44914.37	Pequeña propiedad	3424	0.193	528.835	528.835	0.000	6	0.9	0.8	0.8	1	1	1	5.50
441	28417.49	44139.92	Pequeña propiedad	3435	1.201	3290.620	0.000	0.000	6	1.0	0.8	0.8	1	1	0.9	5.50
442	28111.22	43523.82	Pequeña propiedad	3450	1.065	2916.506	0.000	0.000	6	1.0	0.8	0.8	1	1	0.9	5.50
443	29335.63	36730.36	Pequeña propiedad	4913	0.786	2152.997	0.000	0.000	6	1.0	0.8	0.8	0.9	1	1	5.50
444	27113.61	42153.58	Pequeña propiedad	4941	0.479	1312.537	0.000	0.000	6	0.9	0.8	0.8	1	1	1	5.50
445	28957.24	41326.38	Pequeña propiedad	4901	0.166	455.158	0.000	0.000	6	1.0	0.8	0.7	1	1	1	5.50
446	19281.59	55807.40	Ejido Santa Silvia	1802	1.079	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	1	0.9	1	0.9	5.40
447	15775.53	46285.79	Ejido Cerro de la herradura	3220	1.645	0.000	0.000	0.000	6	1.0	0.7	1	1	1	0.7	5.40
448	29395.10	45743.26	Pequeña propiedad	3443	1.145	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	0.9	5.40
449	21606.19	45390.79	Pequeña propiedad	3315	0.851	0.000	0.000	0.000	6	0.7	0.8	0.9	1	1	1	5.40
450	33160.26	43323.87	Pequeña propiedad	3438	1.072	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.9	0.8	1	1	0.9	5.40
451	27279.79	42982.52	Pequeña propiedad	4942	0.503	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	0.8	1	1	1	5.40
452	25967.70	45320.58	Pequeña propiedad	3335	1.123	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	0.8	1	1	0.9	5.30
453	27255.72	44490.80	Pequeña propiedad	3427	0.947	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	0.8	1	1	0.9	5.30
454	24236.82	47155.53	Pequeña propiedad	3311	1.596	0.000	0.000	0.000	6	0.8	0.8	0.9	1	1	0.7	5.20
455	22961.04	25555.23	Pequeña propiedad	6335	0.870	2383.032	2383.032	2383.032	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
456	19707.76	34666.65	S. R. P. de R. I. Lorenzo León	4830	0.571	1565.221	1565.221	1565.221	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
457	22556.90	26648.30	Pequeña propiedad	6327	0.546	1495.637	1495.637	1495.637	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
458	19723.27	30940.90	Pequeña propiedad	6323	0.538	1474.080	1474.080	1474.080	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
459	16981.52	43460.23	Grupo Solidario Guanajuato	3325	0.504	1381.575	1381.575	1381.575	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
460	19265.52	35727.26	Ejido Cerro Blanco	4827	0.409	1120.159	1120.159	1120.159	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
461	17028.24	43392.92	Pequeña propiedad	4825	0.406	1113.064	1113.064	1113.064	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
462	21592.10	29801.67	Pequeña propiedad	6311	0.341	934.330	934.330	934.330	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
463	19800.00	28800.00	Pequeña propiedad	6345	0.246	674.824	674.824	674.824	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
464	16448.00	43970.00	S. R. P. de R. I. 26 de Marzo	3318	0.068	185.829	185.829	185.829	7	1.0	0.8	1	1	0.9	1	5.70
465	20107.40	29825.84	Pequeña propiedad	6310	1.104	3023.474	3023.474	3023.474	7	1.0	0.8	1	1	0.9	0.9	5.60
466	24002.24	35517.27	Pequeña propiedad	4836	0.878	2406.773	2406.773	2406.773	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
467	23709.22	32173.54	Pequeña propiedad	6302	0.855	2341.828	2341.828	2341.828	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
468	21547.85	41810.37	Pequeña propiedad	4809	0.788	2158.455	2158.455	2158.455	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
469	20744.66	30125.90	Pequeña propiedad	6343	0.738	2020.652	2020.652	2020.652	7	0.9	0.8	1	1	0.9	1	5.60
470	22848.22	36400.66	Pequeña propiedad	4835	0.670	1834.277	1834.277	1834.277	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
471	18006.93	38364.82	Grupo Solidario San Lorenzo	4826	0.593	1625.254	1625.254	1625.254	7	0.9	0.8	1	1	0.9	1	5.60
472	21416.83	43752.88	Pequeña propiedad	3322	0.593	1624.435	1624.435	1624.435	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
473	15742.96	43644.36	S. L.C.A. Oeste	3226	0.573	1568.495	1568.495	1568.495	7	1.0	0.7	1	1	0.9	1	5.60
474	21084.84	36307.29	Pequeña propiedad	4841	0.568	1555.943	1555.943	1555.943	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
475	23913.51	31771.11	Pequeña propiedad	6303	0.540	1480.629	1480.629	1480.629	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
476	17465.64	39205.42	Pequeña propiedad	4823	0.498	1363.565	1363.565	1363.565	7	0.9	0.8	1	1	0.9	1	5.60
477	22952.26	31564.79	S. R. P. San Luis del Desierto	6305	0.492	1347.465	1347.465	1347.465	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
478	18489.59	41494.71	Pequeña propiedad	4812	0.427	1169.004	1169.004	1169.004	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
479	17470.85	42964.18	Pequeña propiedad	4802	0.416	1139.806	1139.806	1139.806	7	0.9	0.8	1	1	0.9	1	5.60

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								Cpnp	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	
480	22410.22	32405.10	Pequeña propiedad	6301	0.329	900.220	900.220	900.220	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
481	20198.29	42386.83	Pequeña propiedad	4805	0.316	865.292	865.292	865.292	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
482	21682.75	30665.03	S. P. R. de R. I. 5 de diciembre	6307	0.306	838.823	838.823	838.823	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
483	20669.59	41946.68	Pequeña propiedad	4804	0.194	532.110	532.110	532.110	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	1	5.60
484	15317.21	41237.28	S. R. P. de R. I. Campo Aguilar	4703	0.075	206.841	206.841	206.841	7	1.0	0.7	1	1	0.9	1	5.60
485	15881.52	41782.19	S. R. P. de R. I. Campo Aguilar	4702	0.010	28.379	28.379	28.379	7	1.0	0.7	1	1	0.9	1	5.60
486	25721.22	26753.03	S. P. R. Patuan de R. I.	6314	0.804	2202.661	2202.661	2202.661	7	1.0	0.8	1	0.9	0.9	1	5.60
487	23583.36	36266.86	Pequeña propiedad	4844	1.117	3060.039	3060.039	3060.039	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	0.9	5.50
488	20141.20	35402.43	Ejido Cerro Blanco	4828	1.101	3016.106	3016.106	3016.106	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	0.9	5.50
489	16733.42	40071.42	Pequeña propiedad	4817	1.384	3791.349	3791.349	3791.349	7	1.0	0.8	1	1	0.9	0.8	5.50
490	26852.79	39574.32	Pequeña propiedad	4908	0.945	2588.236	2588.236	2588.236	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
491	26329.07	33085.37	Pequeña propiedad	6403	0.941	2576.775	2576.775	2576.775	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
492	27500.00	40500.00	Pequeña propiedad	4949	0.926	2535.843	2535.843	2535.843	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
493	23405.74	41292.42	Ejido Josefa Ortiz de Dominguez	4813	0.888	2433.242	2433.242	2433.242	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
494	28239.02	39463.84	Pequeña propiedad	4921	0.871	2386.580	2386.580	2386.580	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
495	22602.00	41305.39	Ejido Josefa Ortiz de Dominguez	4839	0.828	2268.970	2268.970	2268.970	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
496	27296.03	31839.46	Ejido 10 de abril	6406	0.780	2137.989	2137.989	2137.989	7	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9	1	5.50
497	20005.52	30625.82	Pequeña propiedad	6320	0.742	2034.023	2034.023	2034.023	7	0.8	0.8	1	1	0.9	1	5.50
498	28150.72	42381.20	Pequeña propiedad	4915	0.711	1947.248	1947.248	1947.248	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
499	19994.29	41037.46	Ejido Último Esfuerzo	4818	0.701	1920.506	1920.506	1920.506	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
500	26061.97	41615.84	Pequeña propiedad	4814	0.680	1863.748	1863.748	1863.748	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
501	18657.70	43554.30	Pequeña propiedad	3320	0.544	1489.088	1489.088	1489.088	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
502	24313.62	40013.84	Pequeña propiedad	4822	0.524	1434.513	1434.513	1434.513	7	1.0	0.8	0.8	1	0.9	1	5.50
503	20651.53	43765.39	S. R. P. de R. I. Antonio Ruiz	3321	0.303	831.182	831.182	831.182	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
504	20511.60	43401.78	Pequeña propiedad	3326	0.268	735.403	735.403	735.403	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
505	23812.83	42206.14	Pequeña propiedad	4811	0.105	286.521	286.521	286.521	7	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	5.50
506	16681.17	41524.84	Pequeña propiedad	4833	1.700	0.000	4658.824	4658.824	7	1.0	0.8	1	1	0.9	0.7	5.40
507	24539.45	34377.76	S. R. P. Santo Niño	4832	1.403	0.000	3843.468	3843.468	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	0.8	5.40
508	19095.12	39910.21	Ejido Último Esfuerzo	4821	1.287	0.000	3525.567	3525.567	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	0.8	5.40
509	17517.35	42309.21	Pequeña propiedad	4807	0.998	0.000	2735.316	0.000	7	0.8	0.8	1	1	0.9	0.9	5.40
510	31647.38	34510.55	Pequeña propiedad	4920	0.940	0.000	2574.865	0.000	7	1.0	0.9	0.9	0.7	0.9	1	5.40
511	27800.00	36400.00	Pequeña propiedad	4953	0.916	0.000	2510.466	0.000	7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1	5.40
512	27359.47	39533.08	Pequeña propiedad	4922	0.846	0.000	2316.450	0.000	7	1.0	0.8	0.7	1	0.9	1	5.40
513	17443.02	39571.70	Pequeña propiedad	4820	0.773	0.000	2118.615	0.000	7	0.8	0.8	0.9	1	0.9	1	5.40
514	18629.57	38964.34	Pequeña propiedad	4824	0.707	0.000	1936.060	0.000	7	0.8	0.8	0.9	1	0.9	1	5.40
515	27096.14	41045.11	Pequeña propiedad	4929	0.618	0.000	1693.473	0.000	7	0.9	0.8	0.8	1	0.9	1	5.40
516	28500.00	40500.00	Pequeña propiedad	4948	0.577	0.000	1580.775	0.000	7	0.9	0.8	0.8	1	0.9	1	5.40
517	28876.70	38001.44	Pequeña propiedad	4911	0.323	0.000	884.121	0.000	7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1	5.40
518	25098.77	42429.47	Pequeña propiedad	4842	0.276	0.000	755.868	0.000	7	0.9	0.8	0.8	1	0.9	1	5.40
519	28880.90	36426.99	Pequeña propiedad	4947	0.243	0.000	666.365	0.000	7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1	5.40
520	29924.76	38295.61	Pequeña propiedad	4925	0.171	0.000	469.348	0.000	7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1	5.40
521	31550.71	38824.91	Pequeña propiedad	4912	1.447	0.000	3965.172	3965.172	7	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	5.40
522	23790.19	42583.49	S. R. P. de R. I. Andrés Urrutia	4806	0.697	0.000	1910.683	0.000	7	0.8	0.8	0.8	1	0.9	1	5.30
523	27814.81	41100.33	Pequeña propiedad	4905	0.652	0.000	0.000	0.000	7	0.8	0.8	0.8	1	0.9	1	5.30

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								Cnpn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	
524	28663.45	40898.56	Pequeña propiedad	4939	0.847	0.000	0.000	0.000	7	0.8	0.8	0.8	1	0.9	1	5.30
525	33364.16	35315.93	S. R. P. de R. I. Angulo S	4917	0.127	0.000	0.000	0.000	7	1.0	0.9	0.9	0.6	0.9	1	5.30
526	26027.10	33977.14	S. R. P. de R. I. El Olivar	4843	1.243	0.000	0.000	0.000	7	0.8	0.8	0.8	1	0.9	0.9	5.20
527	19827.62	41960.49	Pequeña propiedad	4803	1.508	0.000	0.000	0.000	7	0.8	0.8	0.9	1	0.9	0.8	5.20
528	31717.65	39099.53	Pequeña propiedad	4946	1.921	0.000	0.000	0.000	7	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	0.7	5.20
529	25852.29	35033.21	Pequeña propiedad	4831	2.315	0.000	0.000	0.000	7	1.0	0.8	0.9	1	0.9	0.6	5.20
530	27722.10	41900.08	Pequeña propiedad	4943	0.957	0.000	0.000	0.000	7	0.7	0.8	0.8	1	0.9	0.9	5.10
531	28474.60	37386.83	Pequeña propiedad	4944	1.939	0.000	0.000	0.000	7	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7	5.10
532	25407.78	42003.22	Grupo Banco de Crédito Rural	4801	1.734	0.000	0.000	0.000	7	0.8	0.8	0.8	1	0.9	0.7	5.00
533	27104.00	41543.92	Pequeña propiedad	4928	0.986	0.000	0.000	0.000	7	0.6	0.8	0.8	1	0.9	0.9	5.00
534	11390.33	47746.67	S. R. P. de R. I. Luis Gusmán	3213	0.759	2079.866	2079.866	2079.866	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
535	7597.06	57205.17	Pequeña propiedad	1716	0.717	1963.894	1963.894	1963.894	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
536	13813.94	47949.03	Pequeña propiedad	3214	0.549	1504.642	1504.642	1504.642	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
537	9954.13	47671.77	S. R. P. de R. I. Villa de Guadalupe	3212	0.488	1337.369	1337.369	1337.369	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
538	9800.91	56977.91	S. R. P. Higuera de la Coahuil	1730	0.388	1062.582	1062.582	1062.582	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
539	9832.69	58795.93	Pequeña propiedad	1720	0.369	1009.644	1009.644	1009.644	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
540	10331.44	59995.90	Pequeña propiedad	1711	0.326	893.671	893.671	893.671	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
541	14542.13	39553.88	Pequeña propiedad	4714	0.318	870.477	870.477	870.477	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
542	8848.71	58813.18	Pequeña propiedad	1719	0.255	699.383	699.383	699.383	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
543	14245.12	40667.74	S. R. P. de R. I. José Luis Aguilar	4704	0.191	523.650	523.650	523.650	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
544	7411.39	28721.41	Pequeña propiedad	6233	0.147	401.402	401.402	401.402	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
545	14620.09	45285.20	Pequeña propiedad	3223	0.011	30.016	30.016	30.016	8	1.0	0.7	1	1	1	1	5.70
546	7919.11	48361.63	S. R. P. de R. I. La esperanza	3211	1.172	3210.940	3210.940	3210.940	8	1.0	0.7	1	1	1	0.9	5.60
547	10291.32	25677.48	Pequeña propiedad	6226	1.015	2780.341	2780.341	2780.341	8	1.0	0.7	1	1	1	0.9	5.60
548	6771.73	55401.20	Ejido Adolfo Oribe de Alba	1737	1.003	2747.596	2747.596	2747.596	8	1.0	0.7	1	1	1	0.9	5.60
549	9166.14	46920.40	S. L. C. A. Alvaro Obregón	3216	0.966	2645.813	2645.813	2645.813	8	1.0	0.7	1	1	1	0.9	5.60
550	13022.46	46975.67	S. L. C. A. Michoacán	3217	0.569	1557.580	1557.580	1557.580	8	1.0	0.7	1	1	0.9	1	5.60
551	11361.05	27688.24	Pequeña propiedad	6219	0.858	2350.560	2350.560	2350.560	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
552	4606.11	47205.81	Pequeña propiedad	3108	0.839	2299.532	2299.532	2299.532	8	1.0	0.6	1	1	1	1	5.60
553	4099.71	58842.28	Pequeña propiedad	1605	0.769	2105.790	2105.790	2105.790	8	1.0	0.6	1	1	1	1	5.60
554	10285.39	52966.41	Ejido Santa Laura	3201	0.611	1674.917	1674.917	1674.917	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
555	12971.58	55679.20	Pequeña propiedad	1726	0.568	1556.489	1556.489	1556.489	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
556	6396.10	34183.78	Pequeña propiedad	4723	0.516	1414.866	1414.866	1414.866	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
557	6619.38	46809.96	Pequeña propiedad	3215	0.502	1375.299	1375.299	1375.299	8	0.9	0.7	1	1	1	1	5.60
558	6458.17	37697.80	S. L. C. A. Progresistas Sonorences	4717	0.493	1349.921	1349.921	1349.921	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
559	4666.93	57967.11	Pequeña propiedad	1604	0.453	1241.589	1241.589	0.000	8	1.0	0.6	1	1	1	1	5.60
560	12164.81	51059.88	Pequeña propiedad	3208	0.423	1158.089	1158.089	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
561	9372.52	38999.51	Ejido Cruz Del Bajío	4708	0.369	1011.008	1011.008	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
562	9610.39	40015.52	S. R. P. Porfiria Aguilar	4705	0.362	990.542	990.542	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
563	13106.32	28312.64	Pequeña propiedad	6216	0.300	821.359	821.359	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
564	11461.60	51870.40	Pequeña propiedad	3206	0.038	103.966	103.966	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
565	12250.83	51612.83	Pequeña propiedad	3207	0.019	53.211	53.211	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
566	10523.24	28567.53	Pequeña propiedad	6214	0.007	20.466	20.466	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
567	14329.89	29833.16	Pequeña propiedad	6239	0.741	2029.384	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60

Número	Coordenadas		Tipo de propiedad	Núm de pozo	Q 2000-2001 (Mm <sup>3</sup> )	Qesc 1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-1 (m <sup>3</sup> /día)	Qesc 3-2 (m <sup>3</sup> /día)	Zona	FACTORES DE PESO						Suma
	x	y								Cpnn	Cmar	Cpne	Cesp	Ccultivo	Cgasto	
568	12401.22	27426.51	Pequeña propiedad	6236	0.689	1888.853	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
569	12250.35	31498.45	Ejido Mochomera	6238	0.455	1247.047	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	1	5.60
570	7490.35	39220.94	S. L. C. A Progresistas sonorences	4707	1.245	3410.686	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	0.9	5.50
571	7106.32	32629.94	S. P. R. de R. I. Gilberto Mendez	6205	0.975	2672.555	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	0.9	5.50
572	6057.26	46941.91	S. R. P Barrio de Guadalupe	3109	0.719	1968.533	0.000	0.000	8	0.8	0.7	1	1	1	1	5.50
573	13090.24	52607.47	Pequeña propiedad	3202	0.702	1924.054	0.000	0.000	8	0.9	0.7	1	0.9	1	1	5.50
574	12484.83	32326.07	Ejido Mochomera	6237	0.624	1710.391	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
575	12509.41	37126.87	S. L. C. E. de R.I. Yedith y Ane	4727	0.366	1001.730	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
576	11285.92	29452.56	Pequeña propiedad	6211	0.331	907.861	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
577	10855.46	40049.38	S. R. P. de R. I. Elvira Olivera	4706	0.295	807.988	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
578	14729.69	33086.31	S. L. C. A. Sinaloa	6202	0.279	764.055	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
579	7814.41	36409.82	Pequeña propiedad	4720	0.103	283.246	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
580	11163.44	39035.01	S. L. C. E. de R.I. Cajeme	4710	0.090	245.589	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	1	5.50
581	7716.04	59609.38	Pequeña propiedad	1708	1.679	0.000	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	1	1	0.7	5.40
582	3083.43	47028.43	Pequeña propiedad	3103	0.540	0.000	0.000	0.000	8	1.0	0.5	1	0.9	1	1	5.40
583	2527.55	45943.15	Pequeña propiedad	3107	0.028	0.000	0.000	0.000	8	1.0	0.6	1	0.8	1	1	5.40
584	10416.91	39047.91	Ejido Cruz Del Bajio	4709	1.048	0.000	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.8	1	0.9	5.40
585	10443.63	26728.24	Pequeña propiedad	6222	1.459	0.000	0.000	0.000	8	1.0	0.7	1	0.9	1	0.8	5.40
586	5671.11	58004.56	Pequeña propiedad	1609	1.601	0.000	0.000	0.000	8	0.9	0.7	1	1	1	0.7	5.30
587	5090.69	58148.02	Pequeña propiedad	1608	1.756	0.000	0.000	0.000	8	0.8	0.7	1	1	1	0.7	5.20
588	13110.56	52119.23	Pequeña propiedad	3205	1.956	0.000	0.000	0.000	8	0.8	0.7	1	0.9	1	0.7	5.10