

4. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Con el propósito de conocer las características de explotación, funcionamiento hidráulico (profundidad, elevación, dirección de flujo) y parámetros hidrodinámicos del agua subterránea del acuífero Sabinas-Reynosa, desde 1979 se ha llevado a cabo una serie de actividades consistentes en censos de aprovechamientos, recorrido piezométrico a través de redes de monitoreo, así como aforos y pruebas de bombeo, lo que permitió coadyuvar en el conocimiento del funcionamiento hidrogeológico y régimen del agua subterránea del acuífero, determinando la potencialidad y disponibilidad del mismo.

4.1 Censo de Aprovechamientos

En el área se han llevado a cabo desde 1979 a 1998 campañas intensivas y actualizaciones de censos de aprovechamientos hidráulicos en la zona de estudio, al registrar los pozos, norias, galerías filtrantes, manantiales y piezómetros.

La información recopilada en el campo denotó las características generales de los aprovechamientos, así como sus características constructivas, el equipo de bombeo y el régimen de operación.

En la tabla 5 (Ver apéndice A), se muestra la integración de los resultados obtenidos de dichas campañas.

De acuerdo con la integración y análisis de los censos de aprovechamientos efectuados para el acuífero Sabinas-Reynosa, el número total de aprovechamientos

censados fue de 1242, de los cuales: 895 son pozos; 205, norias; 65, manantiales; 73, piezómetros y 4 galerías filtrantes (Ver Plano 5).

4.1.1. Características Generales

Con base en el análisis estadístico de la información, el 39 % de los aprovechamientos censados se utilizan para uso agrícola, el 20 % sin uso, el 15 % para uso doméstico y el resto de la siguiente manera:

Ganadería (Abrevadero)	14 %
Industrial	6 %
Monitoreo	5 %
Destruído	1 %

4.1.2 Características Constructivas

De acuerdo con la información recabada en campo, los diámetros de perforación en los pozos oscilan entre 3" y 39", los más comunes varían entre 12" y 14". Las norias presentan diámetros entre 10" y 118" y los piezómetros de 4" a 8.5", con respecto a las profundidades reportadas, éstas varían de 12 m a 115 m, en los pozos (son más comunes las profundidades de 50 m), las norias de 4 m a 30 m, los piezómetros de 20 m a 50 m y las galerías filtrantes de 8.60 m.

El diámetro del ademe en los pozos es, en general, de 10" a 12", en tanto que en los piezómetros es de 1" a 4.5".

4.1.3 Características del Equipo de Bombeo

De los 1242 aprovechamientos censados, (a excepción de los manantiales y piezómetros), 99 se encuentran equipados con bomba vertical, 267 con bomba del tipo sumergible, 161 con aeromotor, 120 no tienen equipo, 69 manual, 27 de gasolina y del resto se carece de información. El diámetro de la descarga es, en general, de 4" a 8".

4.1.4 Características de Régimen de Operación

El nivel estático y caudal observado en los aprovechamientos registrados, presenta las siguientes características:

APROVECHAMIENTO	NIVEL ESTÁTICO m	CAUDAL l/s
Pozo	3 a 42	0.30 a 140
Noria	3 a 28	0.10 a 8
Piezómetro	7 a 12	
Galería Filtrante	3 a 4	

De los 65 manantiales existentes en la zona, 23 se encuentran ubicados al Oeste de los poblados de Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión. El agua de estos manantiales proviene del acuífero Calizo, formado por las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak, a través de pequeñas fallas y fracturas, con caudales del orden de los 2 l/s hasta 2000 l/s, que en conjunto aportan un volumen medio anual de 6.35 m³/s.

El agua de estos manantiales es conducida a las zonas de riego a través de canales, que en su mayoría no se encuentran revestidos.

Los 42 manantiales restantes constituyen la descarga natural del acuífero, se localizan entre los poblados de Piedras Negras y Guerrero, a lo largo del Río Bravo y en las cercanías del ejido la Maroma. El caudal de estos manantiales varía del orden de los 0.20 l/s hasta 200 l/s, que en conjunto descargan un volumen medio anual de 139.97 l/s.

Para generación de vapor, compactación de cenizas, construcción y servicios generales, la CFE en la C.T. Carbón I, utiliza como promedio anual 100 l/s, que se extraen mediante 13 pozos (de 1987 a la fecha la mayor parte de la extracción se realiza a través de 3 pozos principalmente).

Entre 1979 y 1984, la C.T. Carbón I utilizó agua del acuífero Sabinas-Reynosa para el llenado del estanque de enfriamiento, con un caudal medio anual de 275, 400,

525, 650, 500 y 400 l/s respectivamente. A partir de agosto de 1984, inició su operación el acueducto del Río Bravo para el llenado del estanque, por lo que la extracción de agua del acuífero, por parte de la central, se reduce considerablemente, extrayendo actualmente un promedio de 100 l/s.

La C.T. Carbón II, utilizó de 1993 a 1996 un caudal de 600, 400, 200 y 200 l/s respectivamente del acuífero Sabina-Reynosa, a través de 15 pozos. Ahora depende más del uso del agua del Río Bravo para su operación. Actualmente la C.T. Carbón II extrae un caudal medio anual de 100 l/s del acuífero Sabinas-Reynosa y 600 del Río Bravo.

Desde 1979, MICARE realiza extracciones de agua del acuífero Sabinas-Reynosa, para la explotación del carbón en sus obras mineras, como producto del desagüe de las mismas. En conjunto con particulares, ejidos o juntas municipales de agua potable, se extrae del acuífero un volumen anual de 2377 l/s.

En la figura 22, se muestra en forma esquemática un desglose de las extracciones por bombeo a que ha sido sometido el acuífero Sabinas-Reynosa desde 1979 a 1998.

En resumen, se tiene que desde 1998, el caudal total de extracción por bombeo del acuífero Sabinas-Reynosa en la zona de estudio, es de 2577 l/s.

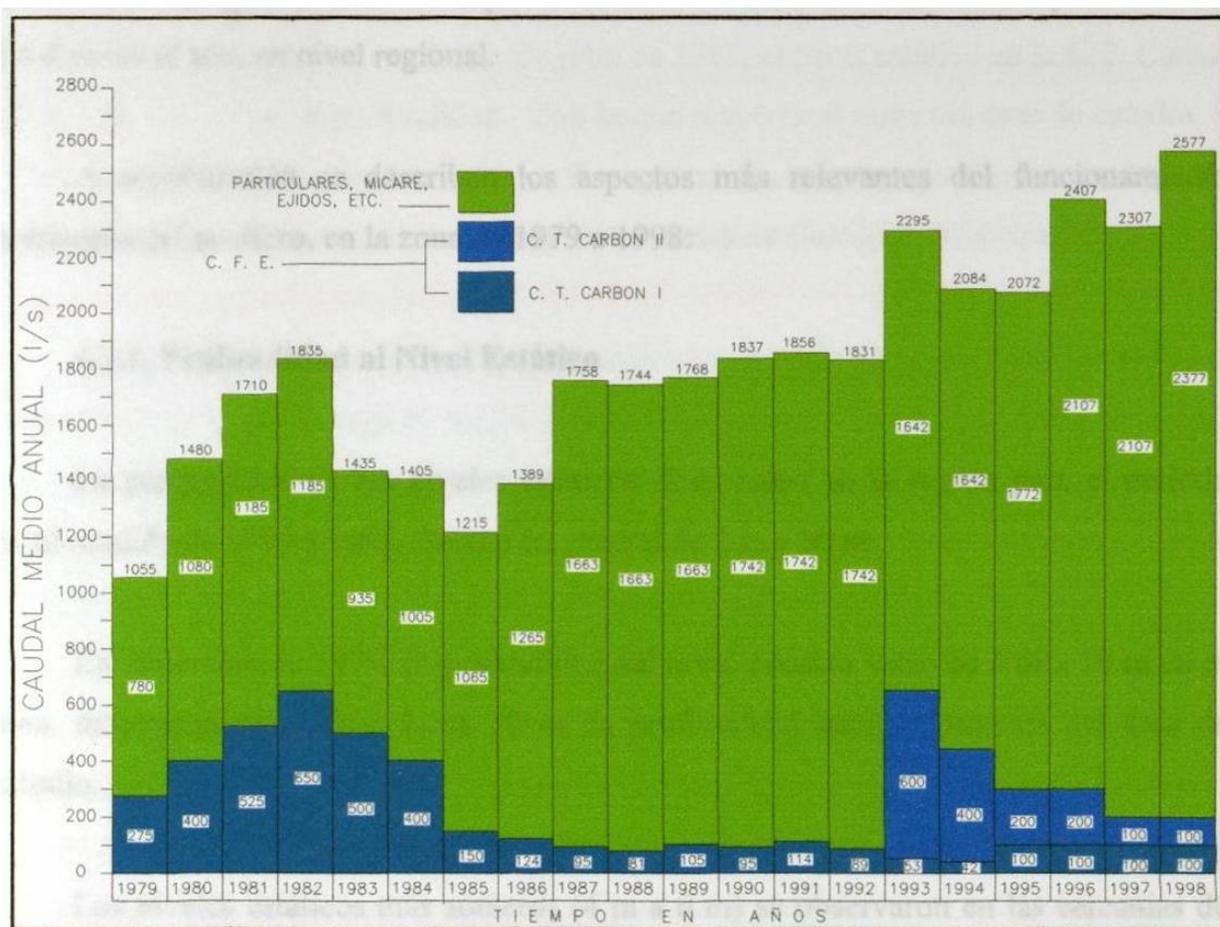


Figura 22. Volúmenes de extracción por bombeo del acuífero Sabinas-Reynosa de 1979 a 1998

4.2 Piezometría

Con base a la información obtenida del censo de aprovechamientos efectuados en la zona y con el propósito de conocer el funcionamiento hidráulico de ambos acuíferos, se crearon redes de monitoreo de aprovechamiento piloto, que permitieron medir el nivel del agua subterránea y realizar observaciones en forma sistemática en el tiempo, a fin de definir las variaciones de los niveles de agua subterránea y sus causas.

De acuerdo con lo anterior, a partir de 1984, en la zona se ha obtenido información sistemática de niveles potenciométricos del acuífero Sabinas-Reynosa, en forma

mensual, de los aprovechamientos que conforman la red de monitoreo local y de 1979 de 1 a 4 veces al año, en nivel regional.

A continuación se describen los aspectos más relevantes del funcionamiento hidráulico del acuífero, en la zona de 1979 a 1998:

4.2.1. Profundidad al Nivel Estático

La profundidad de los niveles estáticos observados en la región para el período comprendido de 1979 a 1998, fluctuó en general de 2 m a 30 m.

En diciembre de 1979, la profundidad del nivel estático varió de 4 m a 10 m en el área, incrementándose ésta, hasta 22 m de profundidad hacia el noreste del área de estudio.

Los niveles estáticos más someros (4 m a 6 m) se observaron en las cercanías de los poblados de Morelos y Charcos, así como en la zona de la C.T. Carbón I (Figura 23).

A partir de 1979 y hasta 1984, el acuífero fue sometido a fuertes extracciones, por parte de la CFE, para llenar el estanque de enfriamiento de la Central Termoeléctrica Carbón I. El máximo bombeo fue en 1982, con un caudal medio de 650 l/s.

De acuerdo con la piezometría obtenida en enero de 1981, el nivel estático en la zona de la C.T. Carbón I y Mina II no muestra los efectos de las extracciones a que fue sometido el acuífero, la variación del nivel estático en esta zona, fue del orden de los 5 m a 7 m. No así en la porción noreste del área de estudio, donde los niveles fluctuaron entre 10 m a 22 m de profundidad.

Las menores profundidades del nivel estático (del orden de 3 m a 4 m), se observaron hacia la zona de Charcos, Morelos y al noreste de Nava.

De 1983 a abril de 1986 se observó un descenso general en los niveles piezométricos en la zona de estudio. En julio de 1983, el nivel estático en la C.T. Carbón I era de 8 m a 12 m de profundidad. Con lo que respecta al resto del área de estudio, el nivel estático oscila de los 4 m a 22 m. Se registran las mayores profundidades hacia la zona de Tajo I y Allende, y las menores en las zonas de Charcos y Morelos.

De acuerdo con las piezometrias realizadas en los años de 1986 a 1987, se observan efectos de recarga al acuífero, debido que a partir de abril de 1986 se aprecia un ascenso general de los niveles estáticos de los aprovechamientos que conforman la red de monitoreo en la zona de estudio. Se alcanzaron los máximos valores en julio de 1987 y abril de 1988.

Para julio de 1989, el nivel estático en el área de estudio oscila de 1 a 30 m de profundidad. Las mayores profundidades (20 m a 30 m) se localizaron hacia el noreste del área; a medida que se va alejando de esta zona, la profundidad disminuye, hasta llegar a los 10 m, que es característica de la porción norte del área de estudio.

En la zona de las Centrales Termoeléctricas, el nivel estático varía de los 6 m a 9 m de profundidad, en tanto que hacia el poblado de Charcos y la porción oeste cercana al Río Bravo se aprecian niveles estáticos menores que 5 m.

En el resto de la zona de estudio, los niveles fluctúan entre 7 m y 10 m de profundidad (Figura 24).

De acuerdo con las piezometrías realizadas en los años de 1993 a 1995, se observan fuertes descensos en los niveles estáticos, debido a la baja recarga del acuífero proveniente de la Serranía del Burro, así como al incremento de las extracciones por bombeo en la zona. Este efecto se acentúa mas a partir de junio de 1993.

Asimismo, es importante señalar que a partir de julio de 1995 se observa una ligera recuperación de los niveles en la región.

En marzo de 1993, el nivel estático varía de 4 m a 30 m de profundidad; las menores profundidades del nivel estático oscilan de 4 a 6 m y se localizan en las cercanías del poblado de Charcos y al Este de las Centrales Termoeléctricas.

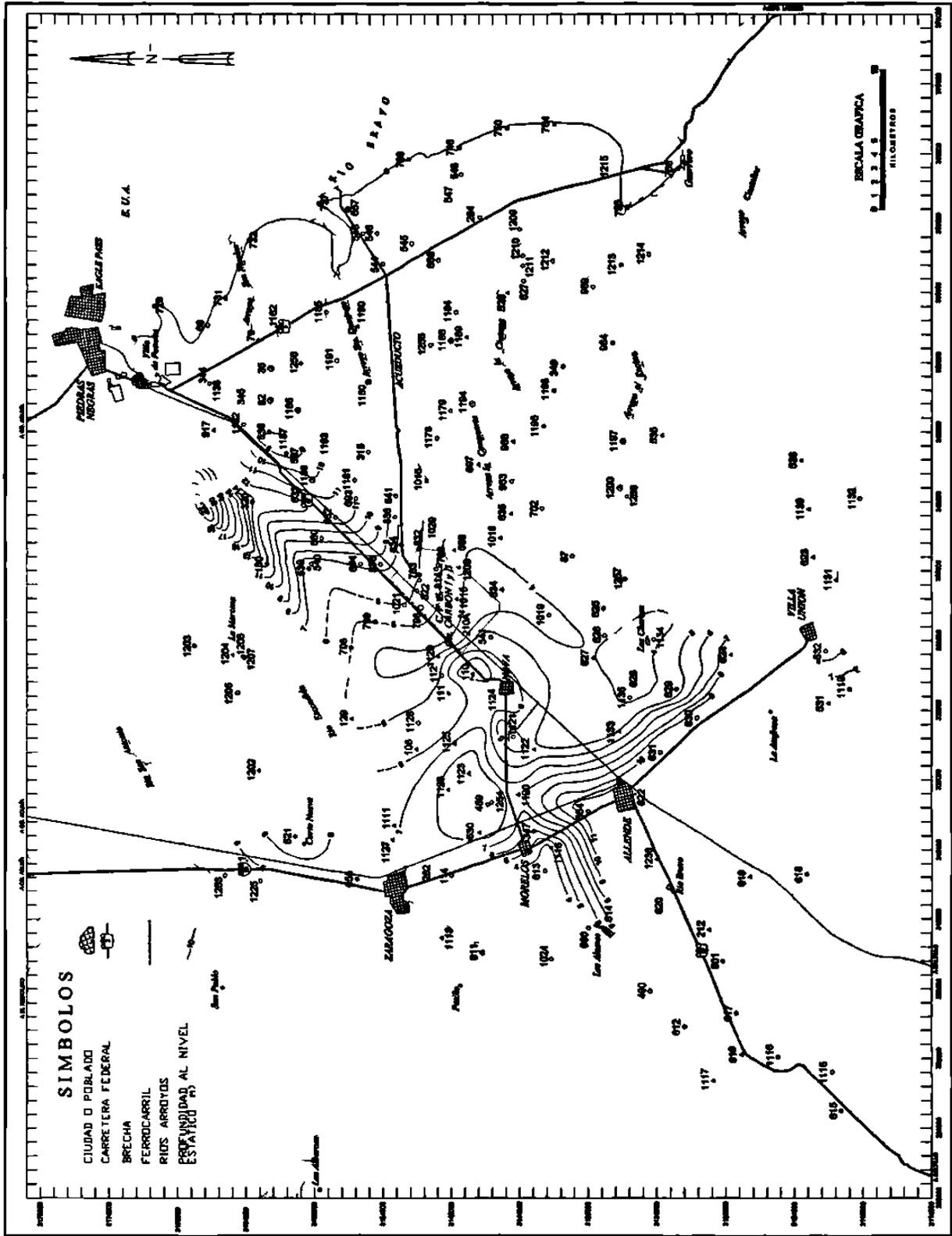
Las mayores profundidades del nivel estático varían de 14 m a 30 m y se localizan al noreste de la zona de estudio (Figura 25).

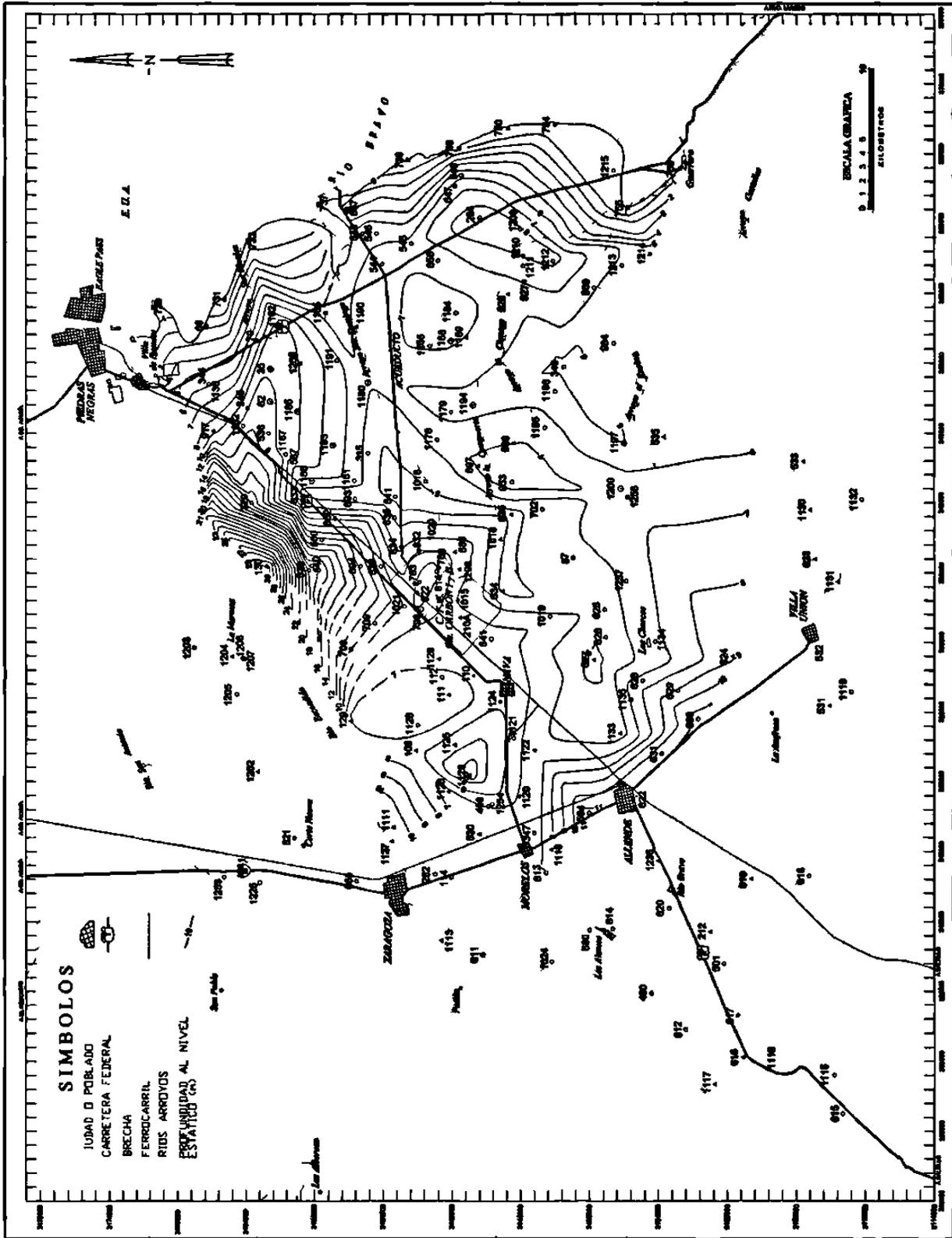
Para 1996 y 1997, la variación del nivel de agua subterránea en la región no presenta cambios significativos con respecto a lo observado en 1995, es decir, se mantuvo estable; sin embargo se hace más evidente la recuperación de los niveles, producto de la precipitación en la zona de recarga del acuífero.

Finalmente, de acuerdo con las piezometrias realizadas en el año de 1998; de enero a mayo se continúa observando una franca recuperación en los niveles del agua subterránea en la región, sin alcanzar los niveles observados hasta antes de 1993.

En noviembre de 1998, la profundidad del nivel estático observada en la zona, fue de los 5 m a los 23 m. Se registraron las mayores profundidades (13 m a 23 m) hacia la zona noreste del área, así como también al suroeste del poblado de Río Bravo. Se observan profundidades del orden de 10 m a 16 m en la zona donde se ubican las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II (Figura 26).

Por otra parte, la C.T. Carbón II disminuye sus volúmenes de extracciones del acuífero. Actualmente, para su operación utiliza 600 l/s de agua proveniente del Río Bravo y 100 l/s del acuífero Sabinas-Reynosa.





La dirección preferencial del flujo subterráneo es SW-NE, con elevaciones que varían de 420 a 215 msnm (Figuras 27 al 30).

El flujo de entrada horizontal a la parte baja de las subcuencas se efectúa, en forma general, con cuatro cambios de gradiente hidráulico; el primero con un valor de 0.0055 correspondiente a las elevaciones entre 420 a 360 msnm, el segundo con valor de 0.0039, entre las elevaciones de 360 a 310 msnm, el tercero entre las elevaciones 310 a 250, con un valor de 0.0025, hasta llegar al último gradiente hidráulico, en donde se incrementa a 0.0058, en la salida del acuífero.

De acuerdo con los datos obtenidos en el período analizado (1979-1998), se tiene que, en general, la porción noreste del área de estudio se ve influenciada principalmente por las extracciones que se realizan en este sector, creando conos de abatimientos en los niveles de agua en la zona.

Asimismo, en la configuración de la elevación del nivel estático para los períodos de agosto de 1984, y de 1993, se observa la influencia de las extracciones efectuadas por las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II en sus alrededores, producto del llenado del Estanque de Enfriamiento de la C.T. Carbón I (1984), así como por la entrada en operación de la C.T. Carbón II, que incrementó las extracciones por bombeo del acuífero, partir de 1993 y/o a los efectos de la baja recarga al acuífero, proveniente de la Serranía del Burro.

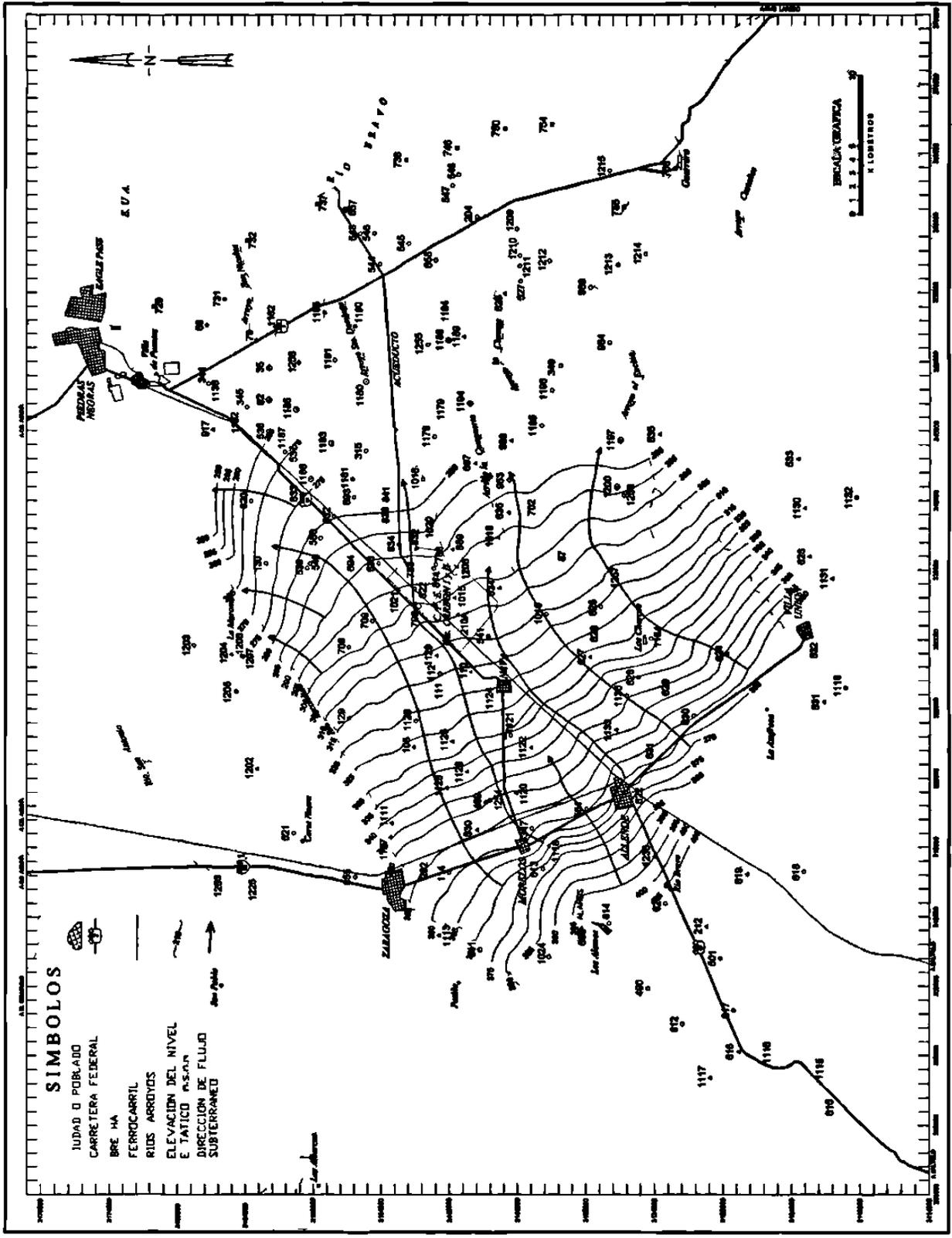


Figura 27. Elevación del nivel estático en agosto de 1984

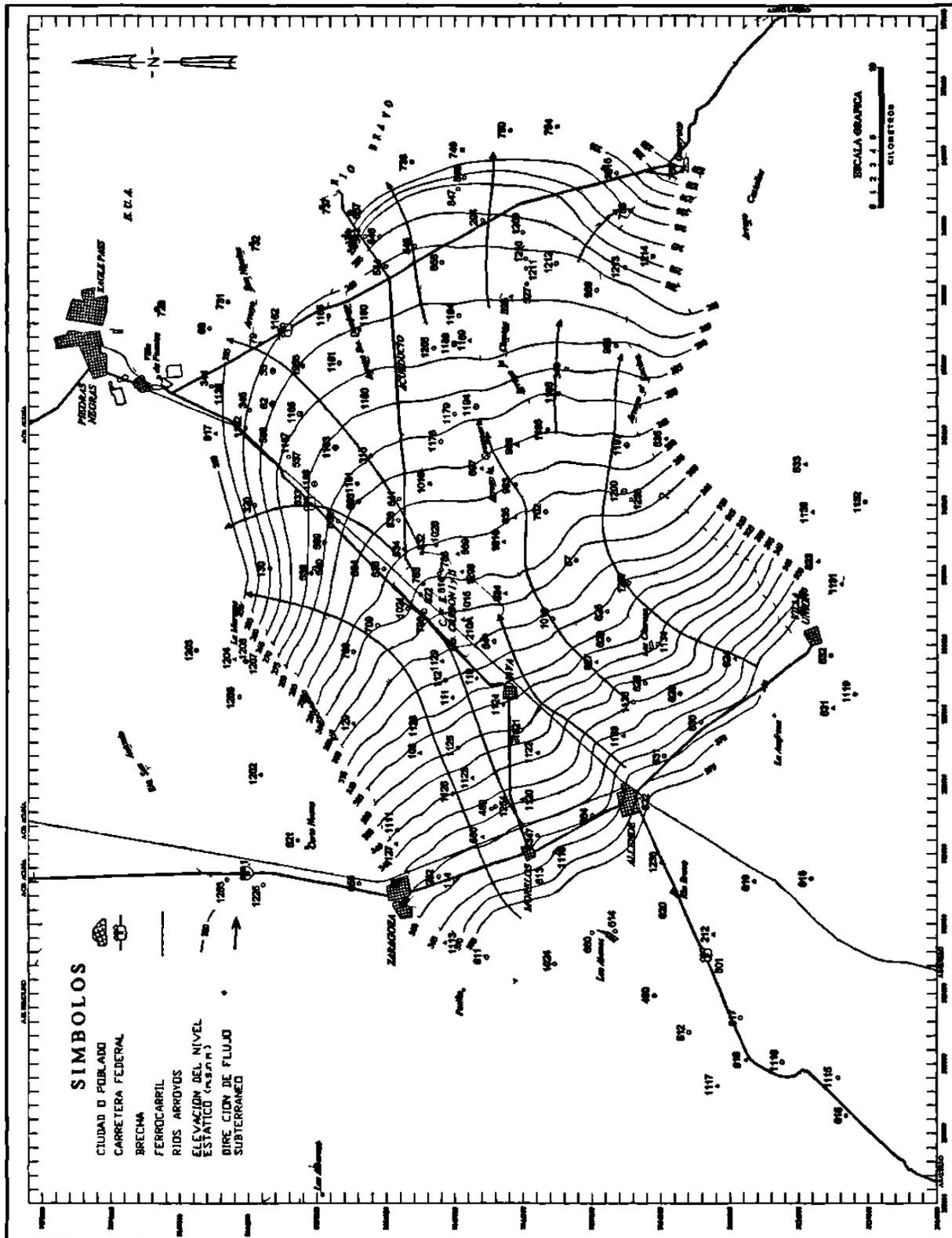


Figura 28. Elevación del nivel estático en marzo de 1993

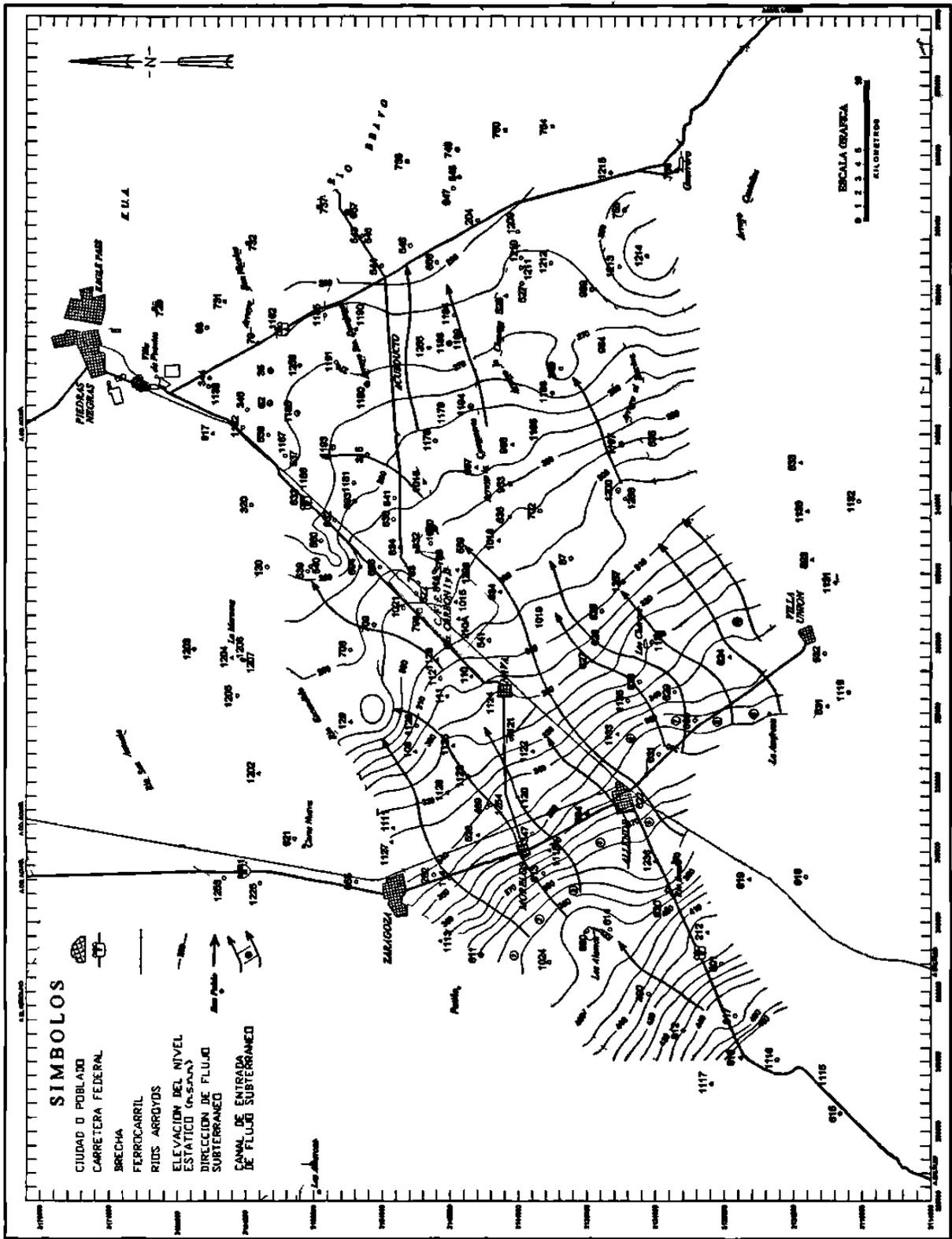


Figura 30. Elevación del nivel estático en noviembre de 1998

Con el fin de ayudar a conocer el funcionamiento hidráulico del acuífero, se construyeron hidrogramas de pozos y manantiales, en los que se representa la variación del nivel estático por zonas y caudales respectivamente, en función del tiempo, relacionado con las extracciones de agua subterránea realizada por la CFE, MICARE y Particulares (agricultores, ganaderos, etc.), así como por la precipitación pluvial en la zona. El período de análisis comprendió de 1979 a 1998 (Figuras 31 y 32).

De acuerdo con las figuras, el comportamiento de los niveles de agua de los pozos y de los caudales de los manantiales observados en el área es el siguiente:

En las zonas Charcos, Zaragoza-Morelos-Nava, suroeste, este y noreste, a partir de 1979, los niveles se mantienen estables (período 1), de mayo de 1981 a abril de 1983 no se cuenta con información, de abril de 1983 a diciembre de 1984 se observan descensos en los niveles (período 2), a partir de enero de 1985 a abril de 1986 (período 3) se empiezan a recuperar los niveles, alcanzando niveles inferiores al período 1 y de abril de 1986 a julio de 1987-abril de 1988 se observan los máximos ascensos de niveles; en el lapso entre julio de 1987 a abril de 1988 se inicia el período 4, que representa un descenso de niveles que termina en agosto de 1990. De esta última fecha, a junio de 1993 (período 5), los niveles son similares al período 3, para posteriormente sufrir un fuerte descenso de los niveles (período 6). Por último, de mediados de 1995 hasta 1998 (período 7), los niveles muestran recuperación, sin alcanzar los niveles observados hasta antes del período 6.

En la zona de las Centrales Carbón I y II, durante los periodos 1 a 7, se observa un comportamiento de niveles similar al de las zonas antes mencionadas; sin embargo, en 1998, los efectos de las extracciones que se realizan al noreste del área se traducen en incremento de la profundidad del nivel estático en algunos de los aprovechamientos que se localizan la zona.

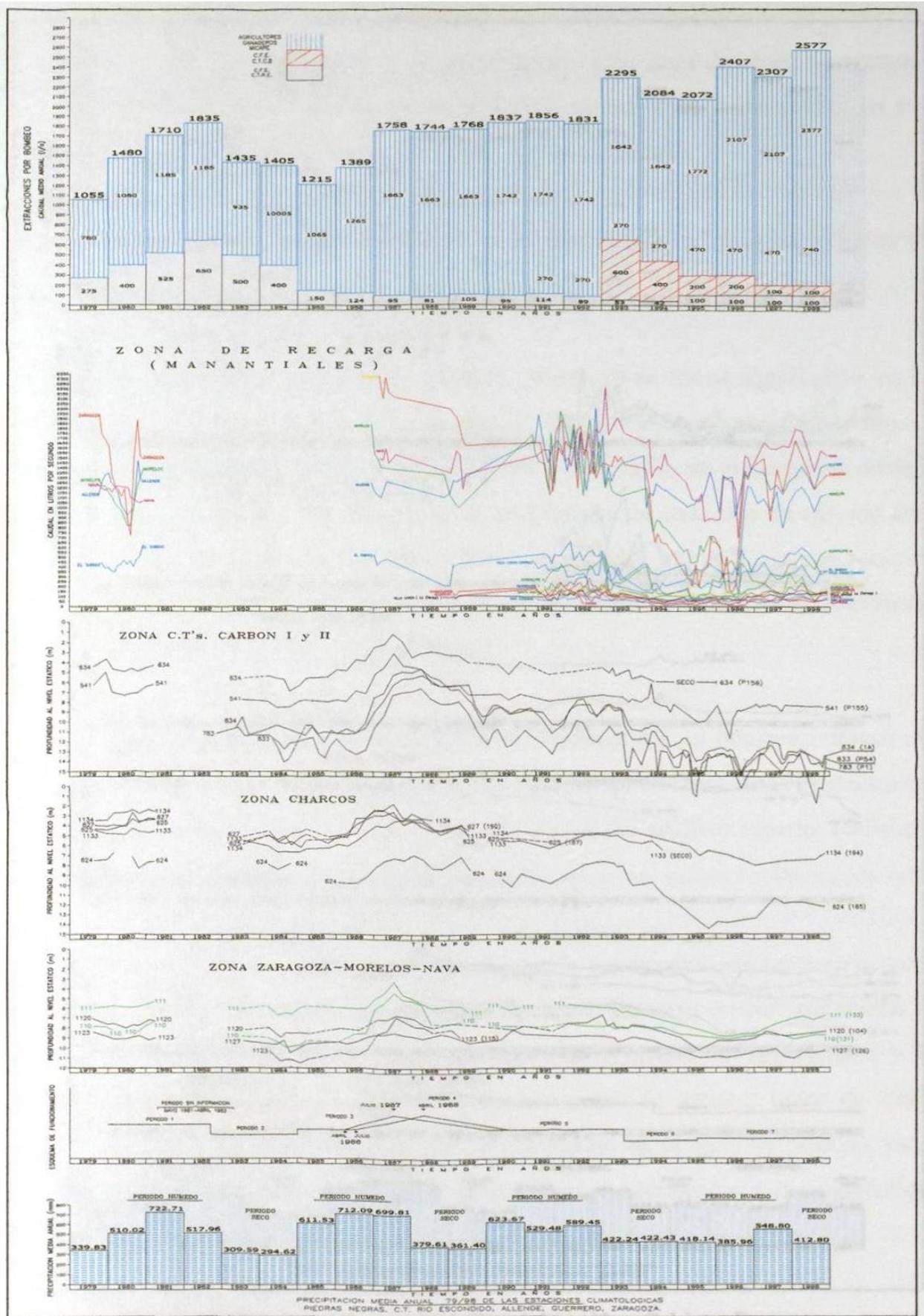


Figura 31. Funcionamiento hidráulico del acuífero Sabinas-Reynosa

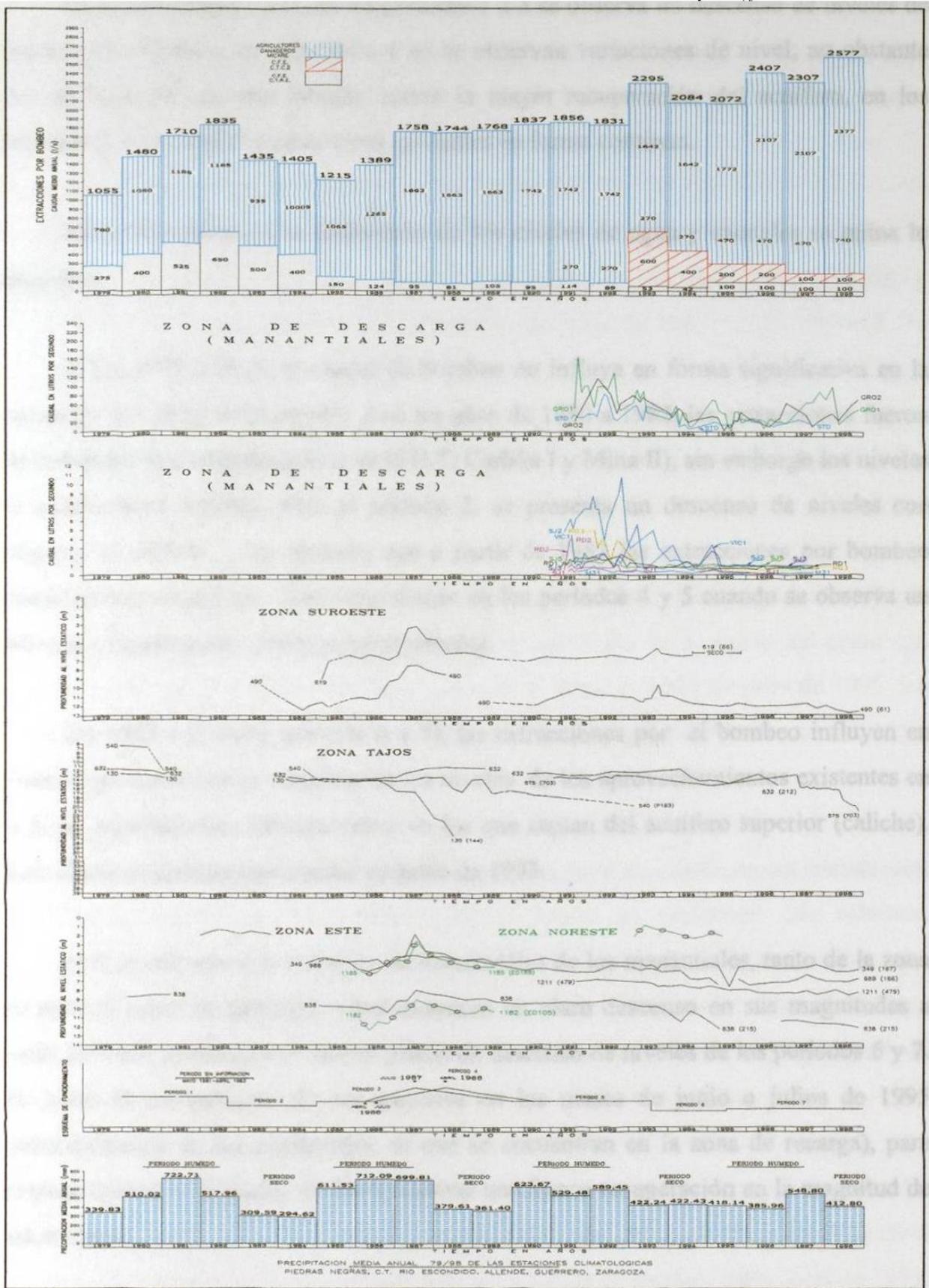


Figura 32. Funcionamiento hidráulico del acuífero Sabinas-Reynosa

En la zona Tajos I y II, en los períodos 1 a 3 se observa un descenso de niveles de acuerdo en el patrón, en el período 4 no se observan variaciones de nivel, no obstante que en la región en este período ocurre la mayor recuperación del acuífero, en los períodos 5 a 7 se observan descensos graduales en forma continua.

Sobre las causas de la fluctuación de los niveles de agua y caudales se opina lo siguiente:

a) De 1979 a 1992, el caudal de bombeo no influye en forma significativa en la variación del nivel; en el período 1 en los años de 1980 a 1982, las extracciones fueron de consideración (principalmente en la C.T. Carbón I y Mina II), sin embargo los niveles se mantuvieron estables. Para el período 2, se presenta un descenso de niveles con respecto al período 1, no obstante que a partir de 1983 las extracciones por bombeo disminuyeron en el área. Asimismo ocurre en los períodos 4 y 5 cuando se observa un ascenso y descenso de niveles respectivamente.

De 1993 a la fecha (período 6 a 7), las extracciones por el bombeo influyen en forma significativa en la variación de los niveles de los aprovechamientos existentes en la zona, repercutiendo principalmente en los que captan del acuífero superior (caliche). Este efecto se acentúa mas a partir de junio de 1993.

b) Con respecto a la variación de los caudales de los manantiales, tanto de la zona de recarga como de descarga, estos muestran un claro descenso en sus magnitudes a partir de 1993, mostrando el mismo patrón de descenso de niveles de los períodos 6 y 7. Se inició la recuperación de sus caudales en los meses de junio o julio de 1995 (principalmente en los manantiales de que se encuentran en la zona de recarga), para posteriormente, a mediados de 1996, mostrar una franca recuperación en la magnitud de los mismos.

c) La precipitación registrada en el valle no coincide directamente con los niveles; en el período 1 en los años de 1979 y 1980 a 1981, se registran bajas y altas

precipitaciones respectivamente; no obstante, los niveles se mantuvieron estables. De igual manera ocurrió en el período 2, en los años de 1983 y 1985, con alta y baja precipitación respectivamente, sólo en el período 3, coincide con bajos niveles y bajas precipitaciones.

En 1986 y 1987 se registran precipitaciones de consideración; sin embargo, el ascenso de niveles que caracteriza al período 4 se manifiesta hasta abril y julio de 1987 y los descensos del período 4 se observan a partir de julio de 1987 y abril de 1988 (en 1988 se registran bajas precipitaciones).

En el período 5, en los años de 1990 a 1992, los niveles se mantienen normales, no obstante las precipitaciones altas observadas en estos años.

En los períodos 6 y 7, en los años de 1993 hasta mediados de 1996, la variación de los niveles coincide con las bajas precipitaciones registradas en la región, así como con el incremento de las extracciones por bombeo en la zona. A partir de julio de 1995, los niveles comienzan a recuperarse, no obstante que las precipitaciones altas comienzan a registrarse a partir de 1997.

Por otro lado, si bien de mayo de 1981 a abril de 1983 no se cuenta con información piezométrica del área, período donde se realizaron las máximas extracciones por bombeo, principalmente en la C.T. Carbón I y Mina II se considera que los efectos no fueron significativos, por las razones anteriormente expuestas. Por lo que los descensos de niveles observados en las piezometrias de julio de 1983 y agosto de 1984 obedecieron más que todo a causas de menor recarga del acuífero.

De acuerdo con el análisis del comportamiento de los niveles en función del tiempo y sus causas, se concluye que no se manifiesta una recarga vertical en el acuífero por precipitación y que la causa principal de la variación de niveles, hasta antes de 1993, fue la recarga que proviene de la Serranía del Burro y, en menor proporción, a las extracciones por bombeo en forma local. No así a partir de 1993, cuando la variación de

los niveles es efecto de la recarga proveniente de la Serranía del Burro y del incremento de las extracciones por bombeo en la zona.

En lo que se refiere a los manantiales que se ubican en la zona de recarga del acuífero, la fluctuación de sus caudales está influenciada principalmente por la recarga proveniente de la Serranía del Burro. No así los manantiales de descarga, donde la variación de sus caudales está relacionada tanto por la recarga proveniente de la Serranía del Burro, como por las extracciones por bombeo que se realizan en la zona.

4.2.4 Evolución del Nivel Estático

De acuerdo con el análisis del funcionamiento hidráulico del acuífero y su relación causa y efecto, se elaboraron planos de igual evolución del nivel estático (Figuras 33 a 38), para los siguientes intervalos:

Agosto de 1984 - Abril de 1986

La evolución del nivel estático en el área de estudio fue en general positivo, de 0.00 m a +0.75 m. Se observaron en algunas zonas evoluciones hasta de +2.25 m y +4.75 m, como fue en el caso de los pozos 534 y 832 ubicados al norte de Allende y en la C.T. Carbón I, respectivamente (Figura 33).

En este mismo período, se observan 5 sitios con evoluciones negativas; la de mayor importancia es la que se registra al noreste del área, con valores de 0.00 m a -22.00 m, así como la de los pozos 111 y 539, ubicados en las cercanías del Tajo II, con valores de 0.00 m a -2.25 m y la del aprovechamiento 624 al norte del poblado de Villa Unión, de 0.00 m a -1.75 m.

Abril de 1986 – Julio de 1987

La evolución del nivel estático en este período, varió de 0.00 m a +5.00 m. Las máximas evoluciones (+4.00 m a +5.00 m) se registraron en el predio de las C.T's. Carbón I y II, al sur y sureste de éstas y en las cercanías del poblado de Morelos. Por otro lado, hacia la parte noreste del área se continuó observando evoluciones negativas del orden de los 0.00 m a -22.00 m (Figura 34).

Julio de 1987 - Agosto de 1990

La evolución del nivel estático en el área para este período fue en general negativo, de los 0.00 m a -22.00 m. La evolución mas fuerte se presenta (-6.00 m a -22.00 m), hacia la porción noreste de la zona de estudio. Las únicas evoluciones positivas se observaron al Este de la C.T's. Carbón I y II, al este de Zaragoza y entre los poblados de Allende y Villa Unión , entre los 0.00 m a +3.00 m (Figura 35).

Agosto de 1990 - Marzo de 1993

La evolución del nivel estático comprendida de agosto de 1990 a marzo de 1993, fue positiva, de los 0.00 m a +1.00 m; alcanzó en algunas zonas hasta +2.50 m, como en el caso de C.T. Carbón I, al Sur de Zaragoza, al norte de Villa Unión, etc. En tanto que en la zona de Tajos y al suroeste de éstos, los abatimientos de niveles de agua continuaron incrementándose y extendiéndose, originando evoluciones negativas máximas a -30 m (Figura 36).

Marzo de 1993 - Octubre de 1996

La evolución del nivel estático en el área, para este período fue, en general, negativa, de los 0.00 m a -30.00 m. La evolución más fuerte se presentó (-6.00 m a -30.00 m), hacia el noreste. Se observaron abatimientos de -5.00 m a -6.00 m, en la zona

de los pozos 79, 470, 548, 624, 852 y 1200. El resto se caracterizó por evoluciones inferiores a los -5.00 m (Figura 37).

Octubre de 1996 - Noviembre de 1998

Después de un fuerte descenso en los niveles del agua subterránea en la región, que culminó a mediados de 1995, para el período de octubre de 1996 a noviembre de 1998 se observó una marcada recuperación de los niveles de agua en la zona, con excepción de la parte sureste y suroeste de las C.T's. Carbón I y II, donde se mantuvieron evoluciones negativas de los 0.00 m a -2.50 m (Figuro 38).

Con base en las configuraciones evolutivas de los intervalos antes mencionados y considerando un área total de análisis de 1530 km², se calcularon los volúmenes de agua incorporada o extraída del acuífero para los intervalos seleccionados (AV);

INTERVALO	EVOLUCION MEDIA DEL INTERVALO EN m	VOLUMEN (AV) m3
Ago 84 - Abr 86	-0.12	182 482 500.00
Abr 86 - Jul 87	1.68	2574 650 000.00
Jul 87 - Ago 90	-2.78	4262 425 500.00
Ago 90 - Mar 93	-0.63	967 080 500.00
Mar 93 - Oct 96	-3.37	5152 672 596.00
Oct 96 - Nov 98	0.27	416 033 148.00

De acuerdo con los resultados obtenidos de la evolución media para los intervalos analizados, se sabe que, de 1984 a 1998, el acuífero Sabinas-Reynosa ha experimentado un abatimiento medio de 4.95 m

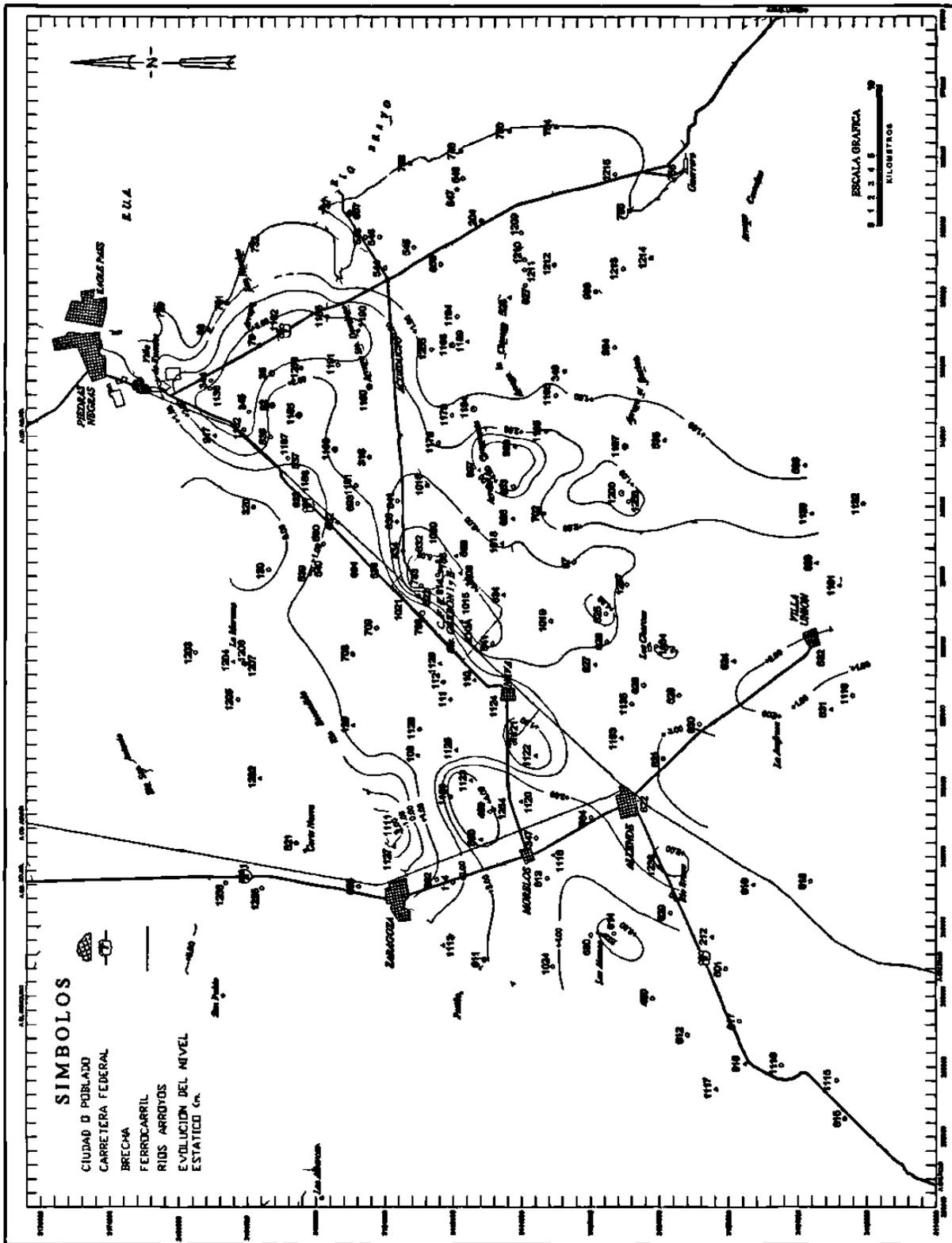


Figura 34. Evolucion del nivel estatico entre abril de 1986 a julio de 1987

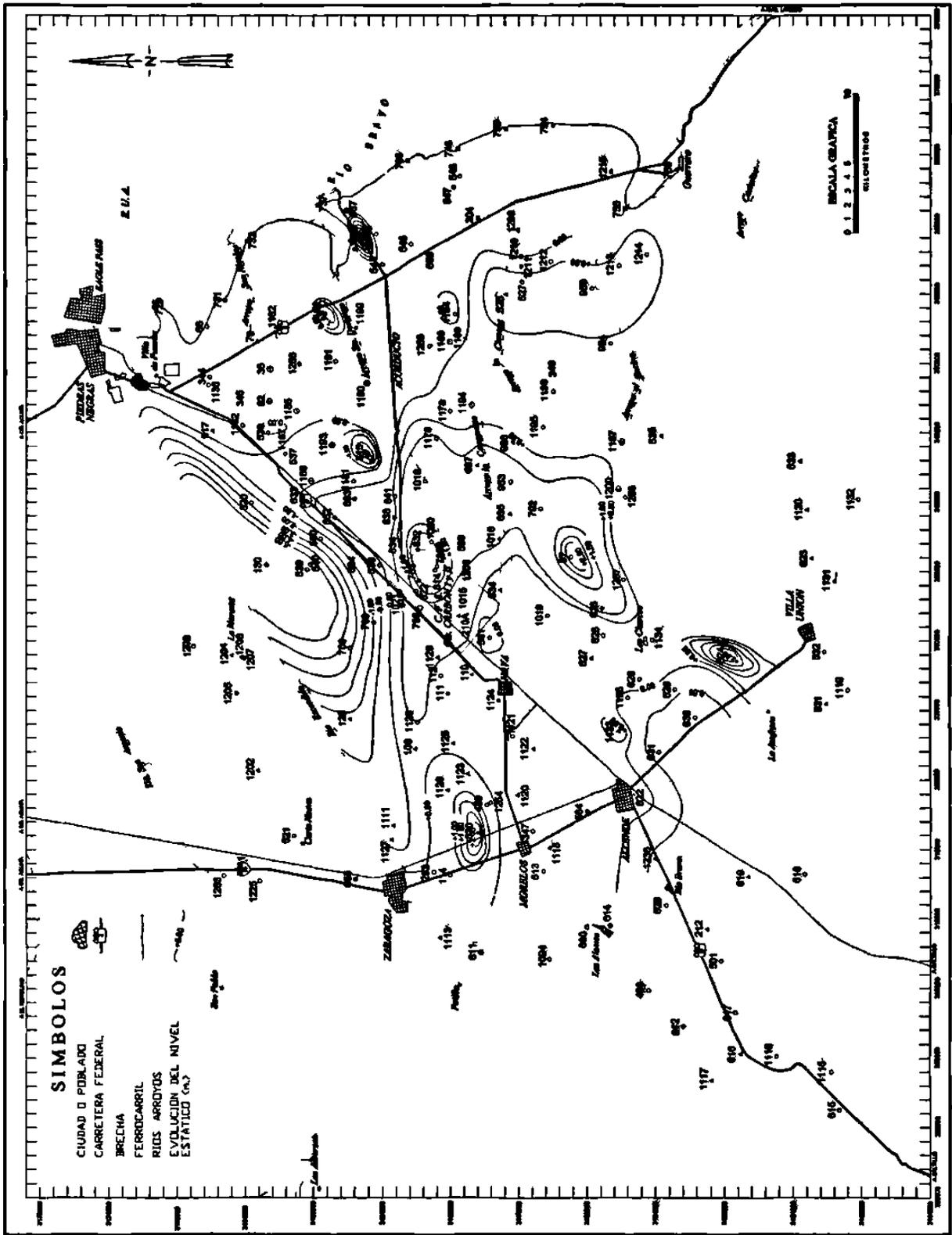


Figura 36. Evolución del nivel estático entre agosto de 1990 a marzo de 1993

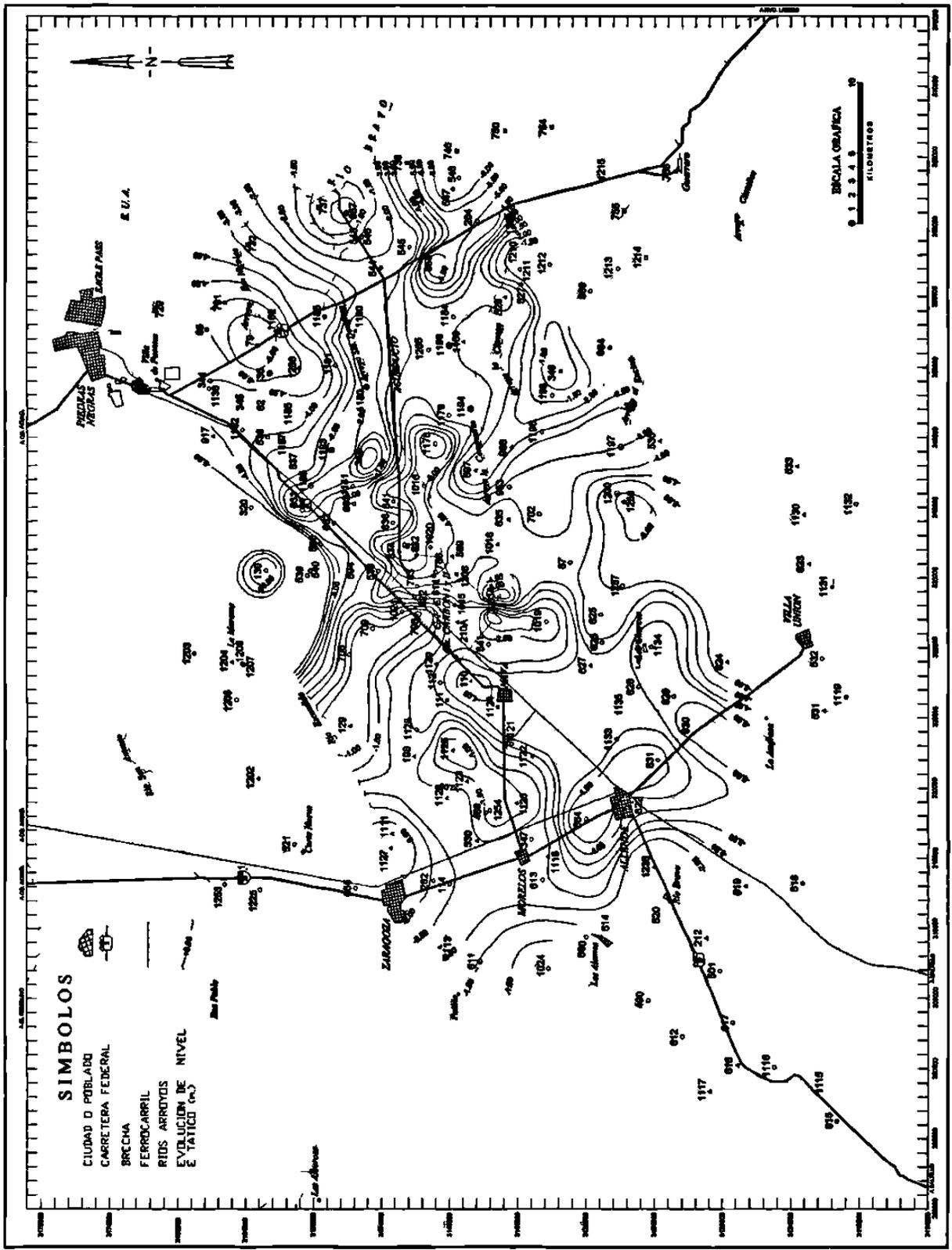


Figura 37. Evolución del nivel estático entre marzo de 1993 a octubre de 1996

4.3 Parámetros Hidrodinámicos

Con el propósito de conocer las características hidráulicas (Transmisividad y Coeficiente de Almacenamiento, etc.) del acuífero Sabinas-Reynosa, en el área de estudio, la CFE realizó, entre 1979 y 1998, 43 pruebas de bombeo.

La localización de los pozos en los que se realizaron las pruebas de bombeo y los resultados obtenidos se muestran en plano 6.

El acuífero en el área de estudio presenta características hidrogeológicas altamente heterogéneas, como se puede observar con los caudales de producción de los aprovechamientos obtenidos del censo regional, que registran caudales de 0.30 l/s a 140 l/s. Se aprecia que un mismo sector tiene pozos con caudales muy altos o muy pobres.

De igual manera sucede con los parámetros hidráulicos, que acusan zonas con transmisividades y coeficientes de almacenamiento muy diferentes, a la vez.

Es importante mencionar que las pruebas de bombeo se efectuaron en pozos que captan tanto del acuífero superior (caliche arenoso) como del inferior (conglomerado).

4.3.1 Transmisividad

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de bombeo efectuadas entre 1979 y 1998, los valores de transmisividad varían de 9.42 m²/día a 23414 m²/día. Los valores más altos corresponden a la zona de las Centrales Termoeléctricas.

4.3.2 Coeficiente de Almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento se obtuvo de 24 pruebas de bombeo, y los valores oscilan de 1.03×10^{-2} a 6.06×10^{-5} (0.001 como promedio).

Para confirmar la información existente en el área de estudio, en 1996, personal de la CFE, realizó en las cercanías de la C.T. Carbón I, una serie de pruebas de bombeo en las que se observó en forma separada el acuífero superior e inferior.

De las pruebas de bombeo efectuadas en 1996 se obtuvieron los siguientes resultados;

ACUIFERO	TRANSMISIVIDAD m ² /día	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA m/día
SUPERIOR	776.68 a 6000.00	0.67×10^{-2} a 45.08×10^{-2}	64.62 a 1237.59
INFERIOR	45.30 a 600.00	0.68×10^{-3} a 8.10×10^{-3}	7.36 a 90.58

De los resultados obtenidos se desprende que el acuífero superior presenta en algunas zonas mejores condiciones hidráulicas que el acuífero inferior.

Los parámetros hidrodinámicos anteriores indican la gran heterogeneidad que presenta el acuífero.

5. HIDROGEOQUÍMICA

El estudio de los cambios que ocurren en la composición química del agua, a través del tiempo y durante el trayecto de circulación en el ciclo hidrológico, permite determinar la calidad química de ésta en la zona de estudio, así como inferir o confirmar ciertas evaluaciones asociadas con el funcionamiento del acuífero.

El agua contenida en el acuífero calizo emplazado en las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak es principalmente un agua Cálculo-Bicarbonatada, en las porciones cercanas a los afloramientos de las unidades contenedoras y cambia a Cálculo-Sulfatada o Sódico-Bicarbonatada, al captarla más abajo, donde las evaporitas intercaladas entre los estratos no han sido removidas y, por lo tanto, influencia el agua que las atraviesa.

Asimismo, tomando en consideración que el agua contenida en el acuífero Sabinas-Reynosa, proviene fundamentalmente de la lluvia que alimenta al acuífero Calizo, es posible inferir la existencia de una interconexión hidráulica entre ambos, a través de zonas fracturadas; pues se observa una renovación rápida del agua del acuífero Sabinas-Reynosa, así como una modificación iónica de ésta.

El movimiento del agua en el subsuelo, durante su recorrido a través de diferentes litologías, inicia una acción disolvente y un intercambio iónico, procesos que continúan conforme el agua avanza, disolviendo sales y cambiando su composición química. Con base en estas modificaciones, es posible efectuar correlaciones de ciertos constituyentes químicos del agua, los cuales permiten determinar, con el apoyo de la geología e hidrología subterránea, propiedades asociadas con el funcionamiento del acuífero, como

son: la calidad del agua, la procedencia y variación de los constituyentes químicos, las familias y clases de agua, los esquemas generales del flujo subterráneo etc.

5.1 Muestreo y Análisis

De acuerdo con lo anterior, para la caracterización Hidrogeoquímica del agua del acuífero se han llevado a cabo desde 1979 a la fecha, muestreos de agua tanto en el nivel local como en el regional, del acuífero Sabinas-Reynosa a través de pozos, norias, manantiales y ríos, seleccionados de tal manera que fueran representativos y estuvieran distribuidos en forma aleatoria, en toda el área de estudio.

Las muestras de agua fueron remitidas y analizadas en el Laboratorio Químico de la Superintendencia de Estudios Zona Norte de la CFE, donde se les realizó un análisis físico-químico convencional para determinar los diferentes iones como: Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}), Sodio (Na^+), Potasio (K^+), Bicarbonato (HCO_3^-), Sulfato (SO_4^-), Cloro (Cl^-) y Nitrato (NO_3^-). Adicionalmente se determinaron los Sólidos Totales Disueltos (STD), la dureza total mg/l de Carbonato de Calcio (CaCO_3) y Sílice (SiO_2) en mg/l.

La calidad química del agua fue evaluada con relación a los Sólidos Totales Disueltos y a las clasificaciones de agua, según: A. M. Piper, Stiff y Schoeller.

A continuación se describen las características hidrogeoquímicas presentes en el acuífero Sabinas-Reynosa, resultado del análisis e interpretación de los muestreos de agua realizados en las diferentes etapas del estudio.

5.1.1 Sólidos Totales Disueltos

Por el contenido de STD, según Davis y De Wiest (1967), de los 94 sitios muestreados; 66 presentan agua dulce, con STD menores que a 1000 mg/l y 28

corresponden a agua salobre, con STD superiores a los 1000 mg/l. De acuerdo con los estándares fijados en el contenido de STD, la CFE hizo la siguiente clasificación:

CLASIFICACION	CONCENTRACIONES DE STD en mg/l
AGUA DE BUENA CALIDAD	0 a 1000
AGUA CONDICIONADA	de 1000 a 2500
AGUA DE MALA CALIDAD	mayor que 2500

Con base en lo anterior, de los 100 sitios muestreados; 66 presentan agua de buena calidad, con STD menores a 1000 mg/l y 28, agua condicionada con STD entre 1000 y 2500 mg/l (Ver apéndice A, Tabla 6).

Los aprovechamientos con agua de buena calidad, se encuentran deseminados en toda el área de estudio, los de agua condicionada se distribuyen principalmente en la zona donde se ubican las Centrales Termoeléctricas Carbón I y II, en la porción Centro-Sur del área en estudio, así como al Noreste de las mismas (Figura 39).

5.1.2 Clasificación de A.M. Piper

Para clasificar la familia de agua según A. M. Piper, se procesaron los miliequivalentes por litro (r) obtenidos del análisis efectuado a las muestras, transformándolos a por ciento de miliequivalentes (%r). Cuando un ion fue superior al 50 %, su presencia clasificó el agua como de este tipo, y cuando ninguno de los iones fue superior al 50 %, se clasificó como mixta.

De acuerdo con lo anterior, el agua subterránea en el área presenta 7 tipos de familia de agua:

FAMILIA DE AGUA	No. MUESTRAS
CALCICO-BICARBONATADA	51
CALCICO-MIXTA	25
CALCICO-SULFATADA	11
MIXTO-SULFATADA	2
MIXTO-MIXTA	3
MIXTO-BICARBONATADA	1
SODICA-MIXTA	1

La familia de agua con mayor frecuencia es la cálcico-bicarbonatada; asociada, en general, a agua de buena calidad. Le siguen, en orden de importancia, las familias cálcico-mixta y cálcico-sulfatada, las que se distribuyen principalmente en la zona de las C.Ts. Carbón I y II y al Noreste de la misma, así como al sur del área de estudio.

En la siguiente tabla, se presentan los niveles de concentraciones químicas que caracterizan a estas familias de agua:

FAMILIA DE AGUA	No. MUESTRAS	STD mg/l	Ca mg/l	Na mg/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l
CALCICO-BICARBONATADA	51	322.94 a 875.92	81.59 a 182	3.22 a 46.08	180.55 a 453.83	14.97 a 194.88	4.26 a 112.10
CALCICO-MIXTA							
a) Cálcico-Bicarbonatada/Sulfatada	10	518.94 a 1884.27	112.40 a 240.00	13.34 a 90.18	214.72 a 419.16	114.81 a 588.44	26.02 a 228.26
b) Cálcico-Sulfatada/Bicarbonatada	7	831.35 a 1094.80	128.19 a 195.19	11.88 a 76.36	292.79 a 366.27	259.59 a 359.42	30.03 a 115.73
c) Cálcico-Bicarbonatada/Clorurada	6	736.80 a 1289.42	128.00 a 182.00	42.31 a 134.32	297.67 a 368.00	114.81 a 239.61	105.08 a 280.29
d) Cálcico-Sulfatada/Clorurada	1	1117.35	168.00	100.27	280	319.48	200.22
e) Cálcico-Clorurada/Sulfatada	1	1189.71	200.00	97.08	322.08	289.82	236.72
	25						
CALCICO-SULFATADA	11	784.62 a 2319.68	124.80 a 396.00	37.25 a 298.80	68.32 a 380.64	320.84 a 1208.76	22.01 a 405.41

5.1.3 Clasificación de Stiff

Esta clasificación nos muestra los iones fundamentales presentes en el agua subterránea (Ca, Mg, Na, Cl, HCO₃ y SO₄), de acuerdo con ella se elaboraron diagramas de Stiff, para cada uno de los aprovechamientos muestreados, y se pueden apreciar sus valores, su incremento y la disminución de su contenido en miliequivalentes por litro.

De acuerdo con lo anterior, en la figura 40 se puede observar que al sur del área en estudio se presenta, una zona con un alto contenido en calcio y sulfato, asociada con agua del tipo cálcico-mixto y cálcico-sulfatado. Ésta forma una franja que se extiende desde los poblados de Allende y Villa Unión, hasta los aprovechamientos 749, 750, 751; cercanos al Río Bravo, con dirección de Suroeste a Este.

Otra zona de importancia es la que se observa en el área de las Centrales Termoeléctricas y al Noreste de las mismas, donde se puede apreciar el cambio que sufre el agua predominante en la zona (cálcico-bicarbonatada), al incrementarse el ion sulfato en los aprovechamientos que se ubican en las cercanías del Estanque de Enfriamiento de la C.T. Carbón I, siguiendo la Tendencia del flujo subterráneo. El posible incremento de sulfato en el área del estanque, se asocia al tipo de herbicida que emplea la central en el estanque con el propósito de combatir la proliferación de algas, el cual está compuesto por sulfato de cobre. Por otro lado, también se observa un incremento del cloro y del sodio, en los aprovechamientos localizados al sureste de los Tajos Mineros I y II de MICARE, asociado posiblemente con estas zonas mineras.

5.1.4 Clasificación de Schoeller

La clasificación de Schoeller está basada en 7 factores; los tres primeros permiten conocer las concentraciones de cloro, sulfato y bicarbonato; el cuarto factor delata la relación entre el cloro y el sodio, con índice de cambio de base; el quinto factor relaciona el calcio con el bicarbonato y los dos últimos indican la evolución de aniones y cationes.

Con base en lo anterior, en el área de estudio se logró definir 4 zonas con características hidrogeoquímicas diferentes entre sí (Ver figura 40).

Zona 1. Se localiza al oeste de los poblados de Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión y se caracteriza por la presencia de agua del tipo 642-1a-5f, con variante 1b, rica en calcio y bicarbonatos:

Zona 2. Comprende la mayor parte del área de estudio y se caracteriza por la presencia de agua del tipo;

642-1a-6f, con variantes 1b, 3a y 3b
642-1a-5f, con variantes 1b y 3b
642-3a-4f
642-1a-6e, con variantes 3a y 3b
642-1a-5e
642-1a-2e

Las variantes corresponden a los factores cuarto y quinto de la clasificación de Schoeller.

Zona 3. Se localiza principalmente en el área de las Centrales Termoeléctricas y al noreste de las mismas y agrupa agua del tipo:

632-3a-4e
632-1a-3f
632-3a-4f
632-3a-3e
632-1a-1e
532-3a-1b

Zona 4. Se localiza en la porción sur del área de estudio, se extiende desde los poblados de Allende y Villa Unión, hasta los aprovechamientos 749, 750 y 751, que se encuentran cercanos al Río Bravo.

632-3a-4f, con variantes 1a
 632-1a-3f
 632-3a-6f
 632-3a-4e, con variantes 4a
 632-1a-3e
 632-1a-1e

Los términos de estos tipos de agua son:

FACTORES	DESCRIPCION
532 522 642 641 632	<p>PRIMER FACTOR (5) rCl 40 a 16 (oligoclorurada) (6) rCl menor de 10 (clorurado normal)</p> <p>SEGUNDO FACTOR (4) rSO4 menor de 6 (sulfato normal) (3) rSO4 entre 24 a 6 (oligosulfatado) (2) rSO4 entre 58 a 24 (sulfatado)</p> <p>TERCER FACTOR (1) rHCO3 mayor a 7 (hipercarbonatada) (2) rHCO3 entre 2 a 7 (bicarbonatado normal)</p>
1a 1b 3a 3b	<p>CUARTO FACTOR (1) rCl > rNa, con índice de cambio de base positivo (3) rCl < rNa, con índice de cambio de base negativo</p> <p>QUINTO FACTOR (a) rCa > rHCO3 (b) rCa < rHCO3</p>
6f 5f 4f 3f 2f 6e 5e 4e 3e 2e 1e 1b	<p>SEXTO FACTOR (6) rHCO3 > rSO4 > rCl (5) rHCO3 > rCl > rSO4 (4) rSO4 > rHCO3 > rCl (3) rSO4 > rCl > rHCO3 (2) rCl > rHCO3 > rSO4 (1) rCl > rSO4 > rHCO3</p> <p>SEPTIMO FACTOR (b) rNa > rCa > rMg (e) rCa > rNa > rMg (f) rCa > rMg > rNa</p>

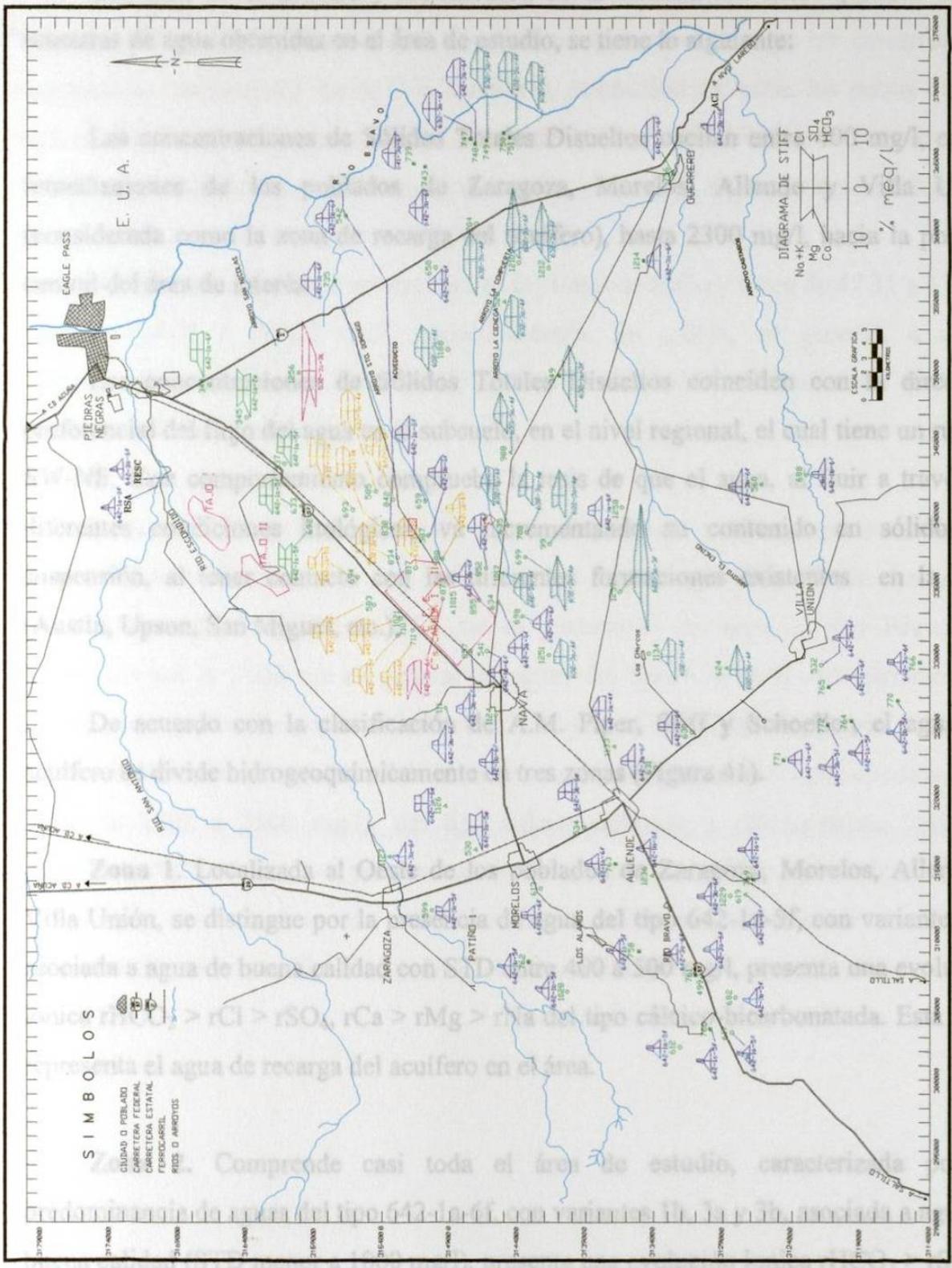


Figura 40. Clasificación de Stiff y Schoeller

5.1.5 Interpretación Hidrogeoquímica

Con base en el análisis y clasificación de la información físico-química de las muestras de agua obtenidas en el área de estudio, se tiene lo siguiente:

Las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos oscilan entre 400 mg/l, en las inmediaciones de los poblados de Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión (considerada como la zona de recarga del acuífero), hasta 2300 mg/l, hacia la porción central del área de interés.

Las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos coinciden con la dirección preferencial del flujo del agua en el subsuelo, en el nivel regional, el cual tiene un rumbo SW-NE. Este comportamiento comprueba la tesis de que el agua, al fluir a través de diferentes condiciones litológicas, va incrementando su contenido en sólidos en suspensión, al tener contacto con las diferentes formaciones existentes en la zona (Austin, Upson, San Miguel, etc.).

De acuerdo con la clasificación de A.M. Piper, Stiff y Schoeller, el agua del acuífero se divide hidrogeoquímicamente en tres zonas (Figura 41).

Zona 1. Localizada al Oeste de los poblados de Zaragoza, Morelos, Allende y Villa Unión, se distingue por la presencia de agua del tipo 642-1a-5f, con variantes 1b, asociada a agua de buena calidad con STD entre 400 a 500 mg/l, presenta una evolución iónica $r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$, $r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na}$ del tipo cálcico-bicarbonatada. Esta zona representa el agua de recarga del acuífero en el área.

Zona 2. Comprende casi toda el área de estudio, caracterizada por la predominancia de aguas del tipo 642-1a-6f, con variantes 1b, 3a y 3b, asociada a agua de buena calidad (STD menor a 1000 mg/l), presenta una evolución iónica $r\text{HCO}_3 > r\text{SO}_4 > r\text{Cl}$, $r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na}$ que corresponde a aguas cálcico-bicarbonatadas.

Es importante señalar que las características químicas del agua de esta zona se ven alteradas en el área de las C.Ts. Carbón I y II y al Sureste de los Tajos I y II de MICARE; en la primera se presenta un incremento en el contenido del ion sulfato en las muestras de agua obtenidas de los aprovechamientos ubicados en las cercanías del estanque de enfriamiento de la C.T. Carbón I, extendiéndose hacia los pozos que se encuentran al noreste de las mismas, siguiendo la tendencia del flujo subterráneo. Se asocia a agua condicionada (STD superiores a los 1000 mg/l), del tipo cálcico-sulfatado.

La segunda presenta un incremento en los iones de sodio y cloro de 42.31 a 134.32 mg/l y 105.08 a 280.29 mg/l respectivamente. Se asocia, en general, a aguas condicionadas (STD de 1000 a 2500 mg/l), del tipo cálcico-mixto (cálcico-bicarbonatado/clorurado).

Zona 3. Ubicada al Sur del área de estudio, forma una franja que se extiende, desde las inmediaciones de los poblados de Allende y Villa Unión hasta los aprovechamientos 749, 750 y 751, que se encuentran cercanos al Río Bravo. Se caracteriza por la presencia en general de aguas del tipo 632-1a-4f con variantes 1a, presenta una evolución iónica $rSO_4 > rHCO_3 > rCl$, $rCa > rMg > rNa$, con índice de cambio de base (i.c.b) negativo. Esta zona se asocia principalmente a agua condicionada (STD de 1000 a 2500 mg/l), del tipo cálcico-sulfatada a cálcico-mixta (cálcico-bicarbonatada/sulfatada), con predominancia del ion calcio y sulfato, este último sugiere que el agua tiene contacto con materiales influenciados por la presencia de yesos y anhidritas (Formaciones Upson, San Miguel y Escondido).

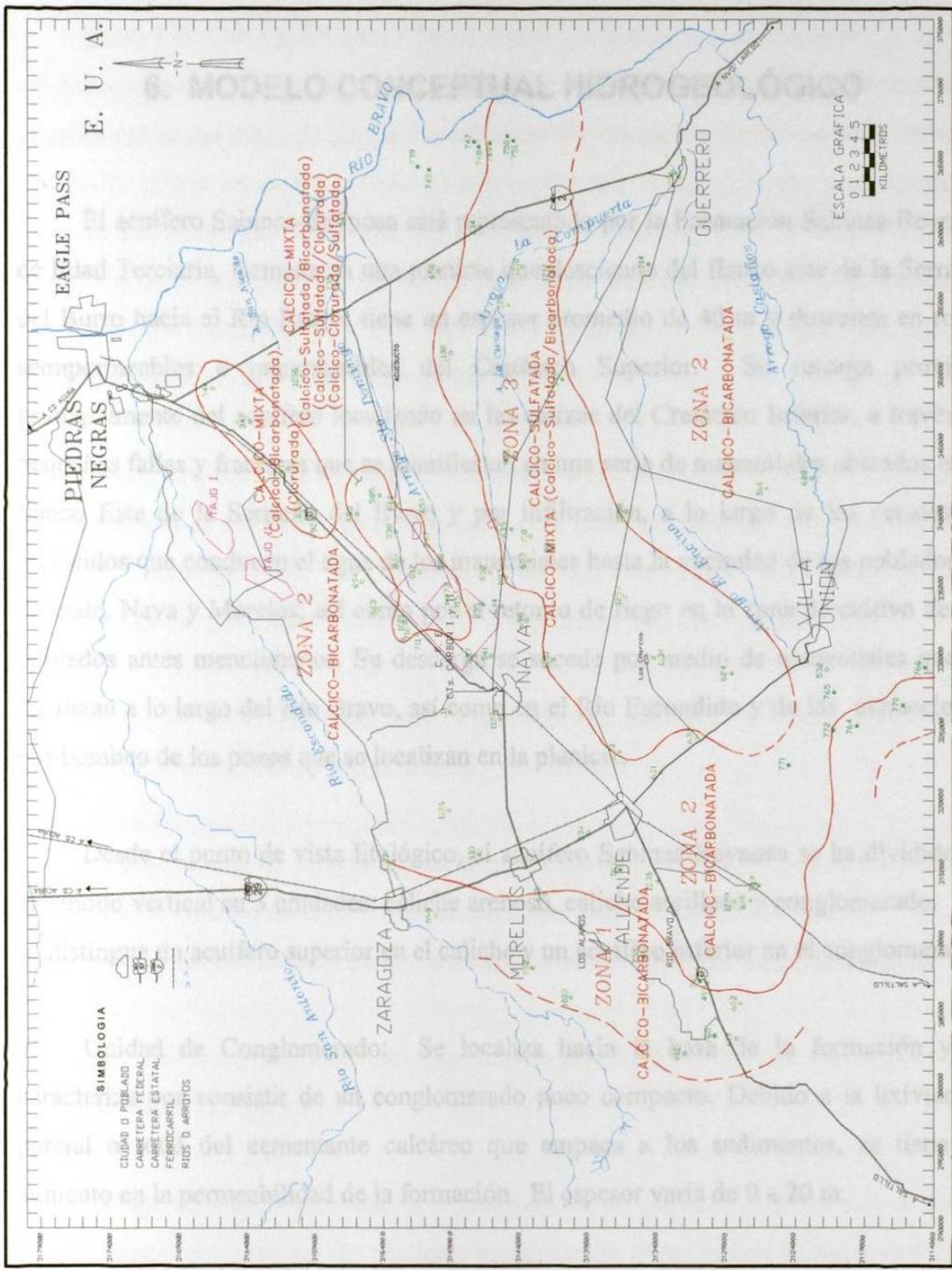


Figura 41. Zonificación hidrogeoquímica

6. MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

El acuífero Sabinas-Reynosa está representado por la Formación Sabinas-Reynosa de Edad Terciaria, formada en una planicie que desciende del flanco este de la Serranía del Burro hacia el Río Bravo; tiene un espesor promedio de 40 m y descansa en rocas semipermeables e impermeables del Cretácico Superior. Su recarga proviene principalmente del acuífero localizado en las calizas del Cretácico Inferior, a través de pequeñas fallas y fracturas que se manifiestan en una serie de manantiales ubicados en el flanco Este de la Serranía del Burro y por infiltración, a lo largo de los canales no revestidos que conducen el agua de los manantiales hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos; así como por el retorno de riego en la zona de cultivo de los poblados antes mencionados. Su descarga se sucede por medio de manantiales que se localizan a lo largo del Río Bravo, así como en el Río Escondido y de las extracciones por bombeo de los pozos que se localizan en la planicie.

Desde el punto de vista litológico, el acuífero Sabinas-Reynosa se ha dividido en el sentido vertical en 3 unidades: caliche arenoso, caliche arcilloso y conglomerado. Así se distingue un acuífero superior en el caliche y un acuífero inferior en el conglomerado

Unidad de Conglomerado: Se localiza hacia la base de la formación y se caracteriza por consistir de un conglomerado poco compacto. Debido a la lixiviación parcial o total del cementante calcáreo que empaqueta a los sedimentos, se tiene un aumento en la permeabilidad de la formación. El espesor varía de 0 a 20 m.

Unidad Caliche Arcilloso: Se localiza en la parte media de la formación y consiste de sedimentos de granulometría que varía desde arena de grano fino y arcillas bien

compactados y empacados en un cementante que le da las características y textura similares a una caliza; su espesor varía de 0 a 15 m.

Unidad de Caliche Arenoso.- Es la unidad que cubre concordantemente a las dos unidades mencionadas y consiste en una alternancia de estratos con sedimentos de granulometría, que varía de arenas y arcillas en una matriz calcárea compacta. Presenta textura de calizas en algunos sectores de la región; por su composición granulométrica presenta permeabilidad baja; sin embargo, por infiltración, flujo y ataque de agua meteórica, se produce lixiviación de los carbonatos, dándole una porosidad secundaria que le permite almacenar pequeños volúmenes de agua que son extraídos por pozos y norias en la región. Su espesor varía de 0 a 20 m.

Cabe mencionar que en algunas ocasiones esta unidad llega a aportar la mayor parte del caudal que se extrae de los pozos que captan tanto del acuífero inferior como del superior. Asimismo, se ha observado en algunos casos que éste presenta transmisividades y conductividad hidráulica superiores al conglomerado.

Dada la heterogeneidad del depósito, el acuífero presenta condiciones geohidrológicas desde libre, semiconfinado y confinado.

La dirección de la inclinación de la base del conglomerado es, en forma general, de Poniente a Oriente; se encuentran las cotas más bajas en los límites con el Río Bravo, con la misma dirección que presenta la tendencia de los espesores del conglomerado.

La dirección preferencial del flujo subterráneo es SW-NE, con elevaciones que varían de 420 a 215 msnm.

El flujo de entrada horizontal a la parte baja de las subcuencas se efectúa en forma general, con cuatro cambios de gradiente hidráulico: el primero, con un valor de 0.0055 correspondiente a las elevaciones entre 420 a 360 msnm; el segundo, con valor de 0.0039 entre las elevaciones de 360 a 310 msnm; el tercero, entre las elevaciones 310 a

250, con un valor de 0.0025 y el último gradiente hidráulico, que se incrementa a 0.0058, en la salida del acuífero.

El acuífero Sabinas-Reynosa se encuentra limitado por el Río Bravo hacia el oriente, por el contacto con roca consolidada de la Serranía del Burro hacia el occidente, por el Río Escondido, al norte y por el Arroyo Castaños al sur; con una longitud de 61 Km por 43 Km de ancho y un espesor que varía de 0 a 15 m en la porción oeste y hacia la parte central presenta un espesor promedio de 40 m, y descansa discordantemente en rocas semipermeables e impermeables del Cretácico Superior. Presenta una leve inclinación hacia el Este con mayor elevación (450 msnm) de la base del conglomerado en las inmediaciones del poblado de Allende disminuyendo hasta 200 msnm en las inmediaciones del Río Bravo. La variación de niveles topográficos es de 250 m, en una distancia de 72 Km en dirección de la Serranía del Burro al Río Bravo. A partir de la Serranía del Burro, las pendientes varían de mayor a menor 4.78, 1.89 y 0.86 al millar.

Límite Occidental.- La recarga del acuífero Sabinas-Reynosa ocurre en su límite occidental, originada por aportaciones ascendentes, a través de las Formaciones Austin y Eagle Ford; por infiltración, a lo largo de los canales no revestidos que conducen el agua de los manantiales localizados en el flanco este de la Serranía del Burro, hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos, así como por el retorno de riego en las zonas de cultivo de los poblados antes mencionados.

La presencia de manantiales en esta zona, permite establecer la existencia de flujo vertical de agua a través de pequeñas fallas y fracturas, proveniente del acuífero calizo que componen las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak, hasta la Formación Austin. Otra evidencia de la existencia de flujo vertical, es la presencia de turbulencia y acumulaciones de arena producidos por el agua en su salida a la superficie.

Límite Oriental.- La descarga natural del acuífero Sabinas-Reynosa se manifiesta principalmente a través de una serie de manantiales localizados a lo largo de la margen derecha del Río Bravo.

En los manantiales, la salida del agua se lleva a cabo a través del fracturamiento de la capa de caliche, por la disminución de espesor en la Formación Sabinas-Reynosa y por el cambio brusco de pendiente en la topografía hacia el Río Bravo.

Límite Norte (Río Escondido).- No existe relación río - acuífero en la zona alta (Manantial Río Escondido-Zaragoza). En la zona baja (entre Zaragozas-confluencia del Río San Antonio), el Río Escondido recibe aporte de agua del acuífero Sabinas-Reynosa.

Límite Sur (Arroyo Castaños).- El Arroyo Castaños no tiene relación con el acuífero Sabinas-Reynosa, ya que la formación que contiene el acuífero es cortada por el cauce del arroyo, en un sector compuesto por caliche y ausencia de conglomerado. Además, se caracteriza por la existencia de aprovechamientos de muy bajo rendimiento.

De acuerdo con sus características hidrogeológicas, el acuífero Sabinas-Reynosa fue dividido en 5 zonas (Figura 42).

Zona 1.- Representa el área con las mejores condiciones hidráulicas del acuífero y en ella se encuentran localizadas las C.T's Carbón I y II. Se distingue por el predominio de pozos de alto rendimiento (> 36 l/s), transmisividades de los 301 m²/día a 23414 m²/día, con un promedio de 3173 m²/día. Presenta agua de buena calidad (STD < 1000 mg/l) del tipo calcico-bicarbonatado.

Zona 2.- Se caracteriza por la presencia de pozos con caudales de los 16 l/s a 36 l/s y transmisividades que oscilan de 213 m²/día a 2506 m²/día, con un promedio de 1451 m²/día. Presenta agua de buena calidad (STD < 1000 mg/l) del tipo calcico-bicarbonatado en la parte Norte del área de estudio y agua condicionada (STD 1000 a 2500 mg/l), con la predominancia del ion calcio y sulfato, hacia la porción sur del área.

Zona 3.- Incluye pozos con caudales de los 4 l/s a 36 l/s con transmisividades de 956.93 m²/día. Su agua es de buena calidad, del tipo calcico-bicarbonatado.

Zonas 4 y 5.- Son de bajo rendimiento hidráulico, con caudales de 0 l/s a 16 l/s y transmisividades de 9 m²/día a 104 m²/día, con promedio de 49.00 m²/día en la zona 4 y de 36.00 m²/día en la zona 5. La zona 4 presenta agua de buena calidad, en tanto que la zona 5 tiene agua de buena calidad; como condicionada, esta última sulfatada.

De acuerdo con el comportamiento estructural de la base y espesor del conglomerado, se ha podido definir que algunas zonas coinciden con las mejores condiciones hidráulicas del acuífero; sin embargo, esta relación no se puede extrapolar, ya que también se han observado zonas con características hidráulicas bajas, debido posiblemente a la transformación del conglomerado a caliche.

7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA

Para definir el potencial y disponibilidad actual de agua en el acuífero Sabinas-Reynosa, se llevo a cabo un balance de agua, diseñado de acuerdo con las características particulares del acuífero y la disponibilidad de información existente.

Dadas las características particulares del acuífero Sabinas-Reynosa, en el área de estudio, se diseñó un esquema para el balance de agua subterránea, tomando en cuenta la geometría del acuífero y las características hidráulicas e hidrogeoquímicas lo que culminó en una zonificación hidrogeológica del mismo.

A continuación se presenta el análisis del balance de agua subterránea obtenido para el período 7, en su intervalo comprendido de octubre de 1996 a noviembre de 1998, de acuerdo con el funcionamiento hidráulico del acuífero.

7.1. Entradas y Salidas de Agua Subterránea

Para el cálculo de las entradas horizontales de agua subterránea (E_h), se seleccionó la configuración de la elevación del nivel estático de noviembre de 1998 (Ver Figura 30), la cual se consideró como representativa del período 7.

La evaluación de las mismas se realizó mediante la ley de Darcy $Q = TBi$ (T = transmisividad, B = ancho de entrada, i = gradiente hidráulico), considerando la zonificación hidrogeológica del acuífero para una área de 1530 km^2 .

PERIODO
OCTUBRE 1996/NOVIEMBRE 1998
CAUDAL DE ENTRADA POR FLUJO SUBTERRANEO

CANAL No.	ANCHO B (m)	TRANSMISIVIDAD T (m ² /día)	GRADIENTE HIDRAULICO i = (h ₁ - h ₂)/L	CAUDAL DE ENTRADA QE (m ³ /s)
1	3000	1451.50	0.0045	0.226
2	3000	956.93	0.0050	0.166
3	2100	3173.00	0.0062	0.478
4	4500	49.00	0.0050	0.012
5	2800	3173.00	0.0055	0.565
6	4500	36.22	0.0055	0.010
7	2200	1451.50	0.0050	0.184
8	3000	36.22	0.0045	0.005
9	3300	1451.50	0.0055	0.305
10	1800	36.22	0.0057	0.004
h ₁ -h ₂ es la pérdida de recarga en la distancia L				QEht = 1.955

Las salidas horizontales de agua subterránea del acuífero Sabinas-Reynosa, en el área de estudio (Sh), están representadas por 38 manantiales que constituyen la descarga natural del acuífero y se localizan entre los poblados de Piedras Negras y Guerrero a lo largo del Río Bravo y en las cercanías del ejido La Maroma. Estos representan un volumen de extracción anual de 0.139 m³/s en promedio, así como por la descarga que realiza el acuífero al Río Escondido, entre las secciones de Aforo I y II del río, considerándose un promedio de 0.471 m³/s.

7.2 Extracciones por Bombeo

Se tomaron en cuenta todos los aprovechamientos que se encontraron dentro del área que se consideró para el análisis del balance, durante el período analizado.

En resumen, se tiene que para 1998, el caudal total de extracción por bombeo del acuífero Sabinas-Reynosa en la zona de estudio (Sb), es de 2.577 m³/s.

7.3 Recarga

La recarga del acuífero Sabinas-Reynosa ocurre en su límite occidental, originada por aportaciones ascendentes a través de las Formaciones Austin y Eagle Ford (Ev_1), por infiltración a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua de los manantiales localizados en el flanco Este de la Serranía el Burro, hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos (Ev_2), así como por retorno de riego en las zonas de cultivo de los poblados antes mencionados (Ev_3).

De acuerdo con lo anterior, así como por los resultados obtenidos de los estudios efectuados en la zona, se tiene una recarga por infiltración a través de canales y retorno por riego, de 0.748 y 1.145 m³/s respectivamente.

Los elementos de juicio o bases para disponer la ausencia de recarga por lluvia sobre la planicie se expresaron en el capítulo 4.

Para estimar la recarga total del acuífero se planteó la ecuación del balance, en su forma más elemental.

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

Las entradas están integradas por el agua subterránea Eh y la recarga al acuífero R ($Ev_1 + Ev_2 + Ev_3$), las salidas por el agua subterránea que sale del acuífero Sh , más las extracciones por bombeo Sb , el cambio de almacenamiento producto del ascenso o descenso de la superficie freática del acuífero AV , multiplicado por el coeficiente de almacenamiento S . Así se obtiene:

$$Eh + R - Sh - Sb = \pm AVS$$

Debido a que el término, Ev_1 no puede ser evaluado con precisión, se lo consideró en la ecuación de balance como factor de recarga. Por lo que la ecuación de balance quedará de la siguiente manera:

$$Eh + \text{Factor de recarga} + Ev_2 + Ev_3 - Sh - Sb = \pm AVS$$

Se sustituye:

$$1.955 + \text{Factor de recarga} + 0.748 + 1.145 - 0.610 - 2.577 = 6.33 \times 0.001$$

$$\text{Factor de recarga} = - 0.655 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

$$R = Ev_1 + Ev_2 + Ev_3$$

$$R = 1.238 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acuerdo con los resultados de la recarga obtenida para el período analizado, se tiene que, dependiendo del período en que se realice el balance, será la cantidad de agua que es posible extraer del acuífero.

Es factible drenar un sistema acuífero en el que los niveles dependan de la recarga, durante los períodos secos, para abatir los niveles, y después, en los períodos húmedos, cuando se presenta la recarga, recuperar dichos niveles; sin embargo, en la región, las extracciones por bombeo se han ido incrementando paulatinamente, lo cual es evidente a partir de 1993. Esto ha provocado que se rompa en determinado momento dicho equilibrio, originando que los niveles de agua descendan sin lograr recuperar su estado normal inicial. Efecto que ha ocasionado la inutilización en la región de algunos pozos y norias o la disminución gradual de sus caudales y que indican la sobreexplotación del acuífero.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación desarrollada en este trabajo modifica sustancialmente la hipótesis del conocimiento de las características geohidrológicas del acuífero Sabinas-Reynosa y responde a la interrogante sobre el estado actual de explotación del mismo.

Los resultados obtenidos indican que en el área existe un sistema acuífero integrado por material granular de relleno y material consolidado (roca).

El acuífero en material granular de relleno (acuífero Sabinas-Reynosa), está representado por la Formación Sabinas-Reynosa de Edad Terciaria, depositada en una planicie que desciende del flanco este de la Serranía del Burro hacia el Río Bravo, tiene un espesor promedio de 40 m y descansa sobre en rocas semipermeables e impermeables del Cretácico Superior. Su recarga proviene principalmente del acuífero localizado en las calizas del Cretácico Inferior a través de pequeñas fallas y fracturas que se manifiestan en una serie de manantiales ubicados en el flanco Este de la Serranía del Burro y por infiltración a lo largo de los canales no revestidos, que conducen el agua de los manantiales hasta la vecindad de los poblados de Allende, Nava y Morelos. Así como por el retorno de riego en la zona de cultivo de los poblados antes mencionados. Su descarga natural se sucede en un alineamiento de manantiales que se localizan a lo largo de la margen derecha del Río Bravo, así como en la margen derecha del Río Escondido en la proximidad del ejido La Maroma y de las extracciones por bombeo de los pozos que se localizan en la planicie.

El acuífero en roca (acuífero Calizo), se localiza en formaciones del Cretácico Inferior y es constituido por varios intervalos permeables por disolución presente en

estratos o fisuras, ubicados dentro de las Formaciones West Nueces, Mc Knight y Salmon Peak. Su zona de recarga se localiza en la parte central de la Serranía del Burro, donde se encuentran mayormente expuestas estas unidades, el acuífero es confinado por rocas de la Formación del Río de edad Cretácico Superior. Su descarga, se realiza principalmente a través de pequeñas fallas y fracturas que se manifiestan en una serie de manantiales ubicados en el flanco Oriental de la Serranía del Burro, considerada como la zona donde se recarga el acuífero constituido de material granular de relleno (Acuífero Sabinas-Reynosa).

La Formación Sabinas-Reynosa, está formada en general de conglomerado de composición calcárea y caliche, caracterizado de una gran heterogeneidad ya que se presenta en forma masiva, lenticular con estratificación cruzada y ocasionalmente formando facies de paleocorrientes. Desde el punto de vista litológico, la Formación Sabinas-Reynosa se ha dividido en el sentido vertical en 3 unidades: caliche arenoso, caliche arcilloso y conglomerado. Así se distingue un acuífero superior en el caliche y un acuífero inferior en el conglomerado. Por la heterogeneidad del depósito, el acuífero presenta condiciones geohidrológicas desde libre, semiconfinado y confinado.

Tomando en cuenta su geometría, características hidráulicas e hidrogeoquímicas el acuífero Sabinas-Reynosa, fue dividido en 5 zonas hidrogeológica diferentes entre sí:

ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
POZOS DE ALTO RENDIMIENTO CAUDALES > 36 l/s	POZOS CON CAUDALES DE 18 A 36 l/s	POZOS CON CAUDALES DE 4 A 36 l/s	POZOS DE BAJO RENDIMIENTO CAUDALES DE 0 A 16 l/s	POZOS DE BAJO RENDIMIENTO CAUDALES DE 0 A 16 l/s
TRANSMISIVIDADES DEL ORDEN DE LOS 301 A 23 414 m ² /día 3 173 m ² /día COMO PROMEDIO	TRANSMISIVIDADES DEL ORDEN DE LOS 213 A 2 506 m ² /día 1 481 m ² /día COMO PROMEDIO	TRANSMISIVIDADES DEL ORDEN DE 894.93 m ² /día	TRANSMISIVIDADES DEL ORDEN DE LOS 9 A 104 m ² /día 49 m ² /día COMO PROMEDIO	TRANSMISIVIDADES DEL ORDEN DE LOS 9 A 94 m ² /día 36 m ² /día COMO PROMEDIO
AGUA DE BUENA CALIDAD STD < 1 000 mg/l TIPO CALCICO-BICARBONATADA	PORCION NORTE, AGUA DE BUENA CALIDAD STD < 1 000 mg/l CALCICO-BICARBONATADA PORCION SUR, AGUA CONDICIONADA STD 1 000 A 2 500 mg/l CALCICO-SULFATADA	AGUA DE BUENA CALIDAD STD < 1 000 mg/l TIPO CALCICO-BICARBONATADA	AGUA DE BUENA CALIDAD STD < 1 000 mg/l TIPO CALCICO-BICARBONATADA	PORCION NORTE, AGUA DE BUENA CALIDAD STD < 1 000 mg/l CALCICO-BICARBONATADA PORCION SUR, AGUA CONDICIONADA STD 1 000 A 2 500 mg/l CALCICO-SULFATADA

Es factible que en un sistema acuífero, en donde los niveles dependan de la recarga provenientes de otro acuífero, drenar éste durante los períodos secos abatiendo los niveles, para después en los períodos húmedos en donde se presenta la recarga recuperar dichos niveles. Sin embargo en la región las extracciones por bombeo se han ido incrementando paulatinamente de 1979 a 1998, siendo más evidente a partir de 1993.

Esto ha provocado que se rompa en determinado momento dicho equilibrio, originando que los niveles de agua descieran sin lograr recuperar su estado normal inicial. Efecto que ha provocado en la región, la inutilización de pozos y norias y/o la disminución gradual de los caudales de los mismos y que indican la sobreexplotación del acuífero.

Para conocer el funcionamiento hidráulico del acuífero Sabinas-Reynosa, con una extracción adicional a la actual, y predecir el abatimiento de niveles que ocurrirán en el acuífero, es necesario establecer una técnica de estudio. Al respecto existen modelos físicos y matemáticos para predecir sus efectos. En este caso se recomienda la realización de un modelo matemático que reproduzca la variación de niveles en función del tiempo e integrar los elementos de la ecuación del balance anteriormente desarrollada. Con el fin de fijar a futuro políticas de explotación, con la premisa de utilizar racionalmente el acuífero.

Asimismo, es necesario que, de acuerdo con los resultados obtenidos del presente trabajo, las autoridades correspondientes, reglamenten la veda y regulen el uso del acuífero Sabinas-Reynosa, para evitar un mayor daño al mismo.

Es importante continuar, como hasta la fecha, con las mediciones piezométricas del acuífero, a fin de obtener la información de la variación de sus niveles de agua y sus causas. Además de continuar con los estudios geohidrológicos que permitan ampliar el conocimiento del acuífero, en particular de la unidad de caliche arenoso, así como de los efectos que provocan las obras mineras construidas por MICARE, en la localidad.

Si el acuífero Calizo representa una fuente alterna para el abastecimiento de agua a la región, esta aseveración requiere de un mejor análisis evaluativo, que permita una extracción regulada que no altere el aporte natural al acuífero Sabinas-Reynosa.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. F. (1954). Reconocimiento geológico de las sierras que limitan al Este, Sur y Oeste de la cuenca carbonífera de Sabinas, Coah. Informe técnico confidencial.
- Acuaplan, S. A. (1984). Estudio de prospección geohidrológica en la Serranía del Burro al Norte del Estado de Coahuila.
- Adkins W. S. et al. (1975). The Geology of Texas. Vol. 1. Stratigraphy. University of Texas, Austin.
- Ariceaga M. C. y Arriaga A.F. (1987). Informe Geológico de la cuenca de Fuentes-Rio Escondido, Coah. NC-3. C.F.E.
- Arriaga A. F. (1991). Reporte de actividades para el censo y localización de los manantiales en la frontera poniente del acuífero Sabinas Reynosa. Informe inédito C.F.E.
- Arriaga A. F. (1991). Geología de apoyo al modelo matemático del acuífero Sabinas-Reynosa. Informe inédito C.F.E.
- Back W. y Lesser. J. M. (1973). Factores hidrogeológicos que influyen en la presencia de la línea de Agua Mala en la zona norte del Estado de Coahuila.
- Bay A. T. Jr. (1977). Lower Cretaceous Stratigraphy models from Texas and México. Bureau of Economic Geology. Report of investigation No. 89.

- Bebout D. G. et al. (1977). Porosity distribution in the Stuart City Trend, Lower Cretaceous South Texas. Bureau of Economic Geology Report of investigation no. 89.
- Blatt, Middleton y Murray. (1990). Origin of Sedimentary Rocks. Second Editore Prentice-Hall Inc. New Jersey. cap. 15 (Evaporite and native sulfur) p 538-565.
- CFE. (1980). Brigada de estudios Geohidrológicos. Estudio geohidrológico sucesivo del sistema acuífero calizo y conglomerado Sabinas Reynosa P.T. Carbón II. Informe inédito.
- Carrasco V. B. (1978). Estudio litoestratigráfico de las rocas sedimentarias perforadas en cinco pozos en el Area El Refugio Zaragoza, Coah.
- CFE. (1979). Geología básica regional de la Subcuenca hidrológica Acuña-Laredo. Series Técnicas de CFE No. 2.
- CFE. (1980). Estudio geohidrológico sucesivo del sistema acuífero calizo y conglomerado Sabinas-Reynosa C.T. Carbón II. Informe inédito.
- CFE. (1983). Servicio de prospección geohidrológica en la zona de Boquillas del Carmen, Estado de Coahuila.
- Custodio E. Llamas M.R. (1983). Hidrología Subterránea Ed. Omega.
- CFE. (1983). Resumen Pozos de exploración en las áreas El Refugio y el Remolino, C. T. Río Escondido.
- CFE. (1985). Investigaciones Hidrogeológicas en el conglomerado Sabinas-Reynosa, C.T. Carbón II. Informe inédito.

- CFE. (1986). Resumen de actividades geohidrológicas. C.T. Carbón II. Informe inédito.
- Castillo A. J. A. (1989). Abastecimiento de agua para la C.T. Carbón II (unidades 1 Y 2), Informe inédito.
- CFE. (1991). Estudio geohidrológico del sistema acuífero en calizas de la porción Norte del Estado de Coahuila (Etapa de Prefactibilidad). Informe inedito.
- Castillo A. J. A., Lozano B.L., y otros. (1991). Estudio geohidrológico del sistema acuífero en calizas de la porción Norte del Estado de Coahuila (Etapa prefactibilidad). Informe inédito C.F.E.
- Camacho S. M. (1992). Comportamiento Estructural de la base del conglomerado determinado a partir de sondeos eléctricos, con apoyo de barrenos exploratorios en las inmediaciones, de la planta termoeléctrica Carbón II y zona Sur de Piedras Negras, Coahuila. Informe inédito C.F.E.
- Castillo A J. A. (1992). Estudio geohidrológico del sistema acuífero en calizas de la porción norte del Estado de Coahuila (Etapa factibilidad 2º trimestre). Informe inédito C.F.E.
- Domínguez M. B. et al. (1976). Evaluación petrolera de la serie Coahuila., N.E. de México. III Simposium de geología de subsuelo zona Noreste.
- Dorantes L. P. (1990). Estudio Geológico-Geohidrológico etapa identificación Región Hidrológica 24-D, Estados Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, México. Informe inedito CFE.
- Humphreys H. C. (1984). Stratigraphy of the lower Cretaceous (Albian) Salmon Peak Formation of the Maverick Basin, South Texas. San Antonio Geological Society. A Field Guide and Related Papers.

- INEGI. (1983). Síntesis Geográfica del Estado de Coahuila. S.P.P.
- Jezzini M. y Mata V.V. (1984). Evaluación de las alternativas en el acuífero calizo. La Mota y El Mimbres. Informe inédito C.F.E.
- Klimentow P. y Kononov V. (1982) Metodología de las investigaciones hidrogeológicas. Editorial Mir Moscú, U.R.S.S. p447.
- Korotkow A. y Pavlov A. (1972). Metodos hidrogeoquímicos aplicados a la geología y geohidrología. Editorial Nedra, Leningrado, U.R.S.S. p184.
- Krainov C. y Shvez V. (1987). Geoquímica de las aguas subterráneas para uso urbano y agrícola. Editorial Nedra, Leningrado, U.R.S.S. p237.
- Klement K. W. (1971). Seminario de Rocas Carbonatadas fases de campo y laboratorio. PEMEX.
- Lozo F. E. (1959). Stratigraphic relations of the Edwards limestone and associated formattios in North Central Texas, in Symposium on Edwards Limestone in Central Texas. University of Texas at Austin Pub. no. 5905.
- Low J.W. (1960). Geología de campo. Compañía Editorial Continental S. A. México.
- Lozo F. E y Smith I.C. (1964). Revision of Comanche Cretaceous Stratigraphy Nomenclature Southern Edwards plateau, Southwest, Texas; Gulf Coast Assoc. Geol. Soes. Trans VI4 p285-306.
- López R. E., (1979). Geología de México. Tomo II.
- McBride E. F. (1981). Estudio estratigráfico de las rocas del Cretácico Superior y estudio de aguas subterráneas en partes de Coahuila, Nuevo León y Chihuahua.

- Mata V. V. y Lozano B.L. (1987). Informe final de la evaluación y actualización geohidrológica. proyecto Carbón II (Programa 1986-1987). Informe inédito C.F.E.
- Mata V. V., (1988). Caracterización Hidrogeoquímica del Acuífero Sabinas-Reynosa. Informe inédito C.F.E.
- Mazor E. (1991). Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. Halsted Press., New York p 274.
- Miller, B. C. (1984). Physical Stratigraphy and Facies Analysis, Lower Cretaceous Maverick Basin and Devils River trend, Uvalde and Real Counties, Texas. San Antonio Geological Society.
- Musarkin, Jrapkovski y Efros. (1976). Problemas y ejercicios de análisis cuantitativos. Editorial Mir Moscú U.R.S.S. (Influencia del efecto salino del pH y de la formación de complejo en la solubilidad de los precipitados) cap. II (Análisis gravimétrico p 29-93).
- Nelson H. F. (1959). Deposition and alteration of the Edwards limestone, Central Texas, in Symposium on Edwards limestone in Central Texas. University of Texas at Austin Pub. No. 5905.
- Ojeda R. J., et al. (1968). Geology of the Sabinas Coal Basin, Sabinas Coal Region Guidebook G.S. field Trip No. 1-9.
- Organización Mundial de la Salud. (1980). Criterios de salud ambiental, nitratos, nitritos y compuestos nitrosos. p109.

- Pedrazzini N. Carmen. (1979). Facies de la Serie Comanche en el subsuela de la Plataforma del Burro, Coah. Congreso Panamericano de Ingeniería del Petróleo. Clave 1.23.
- Pacheco A. J. G. (1985). Nitratos en Aguas Subterráneas un caso de estudio. Ciencia y Desarrollo Vol. XVII No. 102 p99-104.
- Padilla y Sánchez R. J. (1986). Post-Paleozoic tectonics of Northeast México and its role in the evolution of the gulf of México. Geof.Int.Vol.25-1 pp. 157-206.
- Piskin R. (1973). Evaluation of Nitrate Content of Groundwater in Hall County Nebraska Groudwater. Vol II, No 6 p4-13.
- Ramírez O. E. y Lozano B. L. (1991). Reporte del análisis de la litología y reinterpretacion de los pozos del Area El Refugio y El Remolino en el Mpio. de Zaragoza, Coah. Informe inedito CFE.
- Ramírez O. E. (1992). Informe de la perforación del Pozo golondrinas. Informe inedito CFE.
- Rodríguez M. J. M. (1982). Gradiente geotérmico de la plataforma el Burro Picachos. International Oil Tulsa, Oklahoma.
- Rodríguez M. J. M. y Lozano B. L. (1983). Acuífero en calizas en el Norte y Noreste de México. Informe inédito CFE.
- Rodríguez M.J.M. y Lozano B. L. (1984). Potencial acuífero de las calizas en el área Refugio-Remolino para futuros proyectos carboeléctricos (carbón II). Informe inédito CFE.

Rodríguez M. J. M. y Lozano B. L. (1984). Estudio preliminar de acuíferos en caliza en los estados de Coahuila y Chihuahua. Informe inédito CFE.

Rodríguez M. J. M. 1984. Presencia de hidrocarburos en zonas de carbón en la subcuenca de Fuentes Río Escondido. Symposium Latinoamericano del Carbón. Piedras Negras, Coahuila, México. pp923-958. Sept.

Rodríguez M. J. M. et al. (1985). Relación del gradiente geotérmico con la concentración de sólidos, totales disueltos en acuíferos calizos en la zona Refugio-Remolino, Zaragoza, Coahuila. Vol.9.Chihuahua, Chih.

Sellards E. N. et al. (1954). The Geology of Texas, Austin.

Smith I. C. (1970). Lower Cretaceous Stratigraphy, Northern Coahuila, Mexico. Bureau of Economic Geology. University of Texas, Austin Texas.78712 report of investigation No 65.

Salinas E. S. (1980). Tectónica del Golfo de Sabinas. XXXV reunión a nivel de expertos de ARPEL. PEMEX-I.M.P., D.F. Tema 1-A-2.

Senger R. K. et al. (1984). Hidrogeology of the Edwards aquifer, Austin Area, Central Texas. Bureau of Economic Geology y University of Texas at Austin Report of investigation 141.

Técnicos Asesores y Constructores S.A. (1981). Estudio de evaluación geohidrológica preliminar de la zona del Río Escondido en el estado de Coahuila.

Walker W. H. (1973). Groundwater Nitrate Pollution in Rural Area Groundwater. Vol. II, No. 6, p19-22.

Zwanzinger J. A. (1980). *Futuro petrolero del área de Piedras Negras, Coah.* III
Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia. CFE Tomo I.