

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Guadalupe Bañuelos
(3227), Estado de Zacatecas***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CDXV REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "CUENCAS CENTRALES DEL NORTE"		R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CLAVE	ACUÍFERO	CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE ZACATECAS							
3227	GUADALUPE BAÑUELOS	10.7	0.0	12.666210	8.7	0.000000	-1.966210

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

ACUIFERO 3227 GUADALUPE BAÑUELOS

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	26	45.6	22	38	54.9
2	102	26	26.5	22	37	28.1
3	102	27	25.6	22	33	35.1
4	102	29	38.9	22	33	13.2
5	102	35	12.4	22	35	40.2
6	102	35	27.9	22	36	55.9
7	102	35	15.4	22	39	6.3
8	102	34	37.8	22	41	43.2
9	102	33	22.0	22	44	8.9
10	102	32	44.0	22	49	6.8
11	102	32	9.2	22	47	14.7
12	102	30	46.0	22	44	55.1
13	102	28	5.0	22	44	21.7
14	102	24	57.6	22	42	1.3
1	102	26	45.6	22	38	54.9



Comisión Nacional del Agua

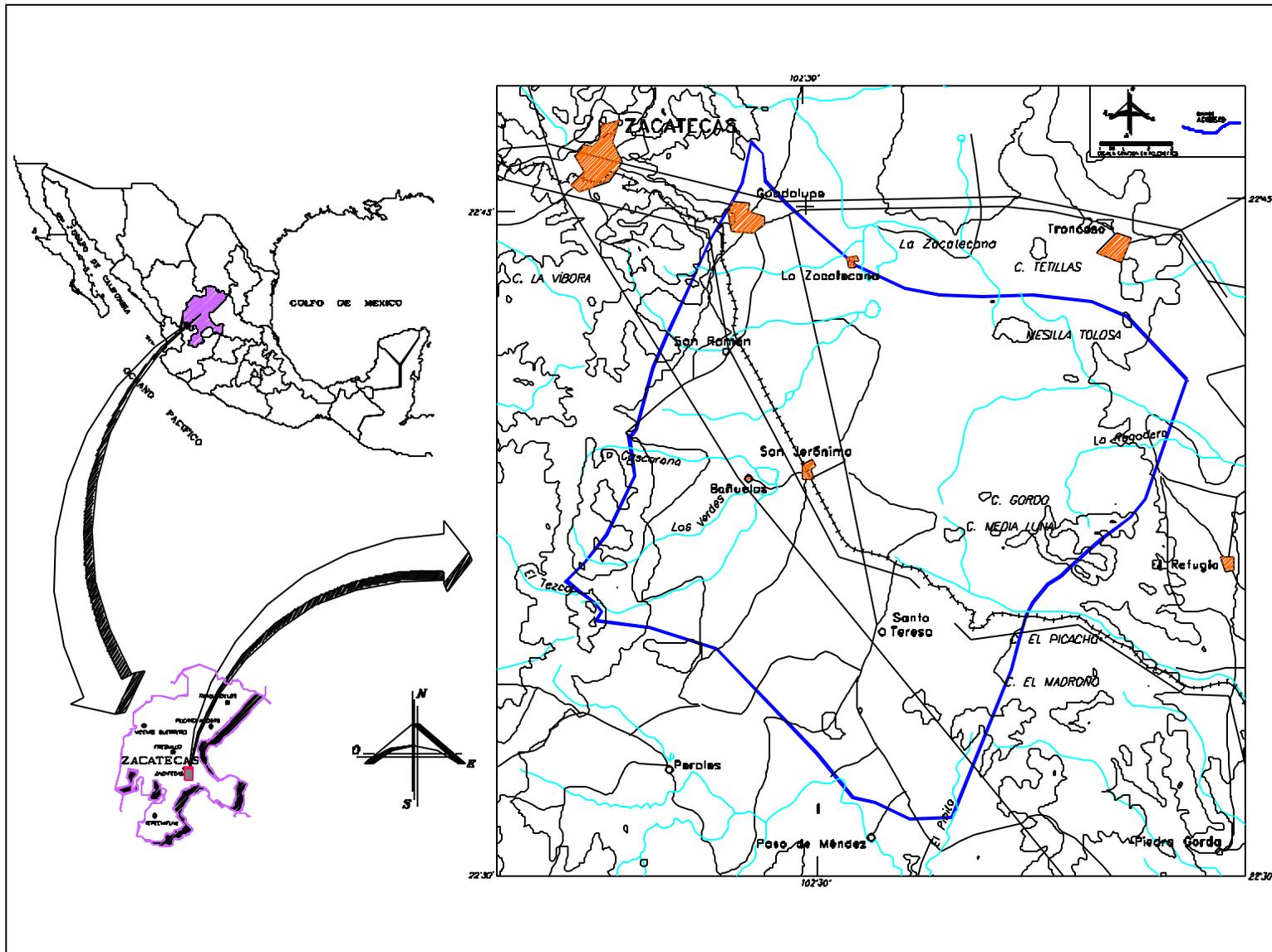
Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD
DE AGUA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE-
BAÑUELOS, ESTADO DE ZACATECAS***

México, D.F., 30 de abril de 2002



Acuífero Guadalupe-Bañuelos, Zac.

**DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL
ACUÍFERO GUADALUPE BAÑUELOS, ZACATECAS
CONTENIDO**

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

- 1.2 Localización, extensión, y límites de la unidad hidrogeológica
- 1.3 División municipal
- 1.4 Estudios técnicos realizados con anterioridad

2 Marco Físico

- 2.1 Clima
- 2.2 Hidrografía
- 2.3 Geología

3 Hidrología subterránea

- 3.1 El acuífero
- 3.2 Niveles del Agua Subterránea
- 3.3 Censo de aprovechamientos e hidrometría

4 Balance de aguas subterráneas

- 4.1 Ecuación de balance
- 4.2 Recarga
- 4.3 Descarga
- 4.4 Cambio de almacenamiento

5 Disponibilidad

- 5.1 Recarga total media anual
- 5.2 Descarga natural comprometida
- 5.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPGA
- 5.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

Figuras

- Figura 1 El acuífero de Guadalupe Bañuelos, Zac.
- Figura 2 Profundidad del nivel estático. 1995.
- Figura 3 Elevación del nivel estático. 1995.
- Figura 4 Evolución del nivel estático. 1987-1995.

Tablas

- Tabla 1 Vértices de la poligonal del acuífero Guadalupe Bañuelos, Zac.
- Tabla 2 Balance de aguas subterráneas

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO GUADALUPE BAÑUELOS, ZACATECAS

1 Generalidades

1.1 Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CNA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la (NOM) Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales" (NOM de Disponibilidad). Esta norma a sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CNA.

Con la publicación de la LAN en diciembre de 1992, se establece que los aprovechamientos de agua subterránea deberán de estar inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), estimándose a esa fecha un universo de 140,000 pozos existentes en todo el país, de los cuales, unos 42,600 contaban con registro nacional y otros 10,000 tenían algún tipo de autorización. A finales de 1995 se emitieron Decretos Presidenciales que otorgan facilidades a los usuarios para inscribir sus pozos en el REPGA, que se prorrogaron hasta finales de 1999, con lo que se ha logrado captar a casi todo el universo de usuarios. Uno de los instrumentos que le dará certidumbre jurídica a los actos de autoridad de la CNA, es la publicación en el DOF de los datos de disponibilidad de agua subterránea en cada uno de los acuíferos del país y la publicación de los estudios técnicos correspondientes. Esta publicación deberá estar dentro de los lineamientos que establece la NOM de disponibilidad.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPGA.

Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA). La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.2 Localización, extensión y límites de la unidad hidrogeológica

El valle Guadalupe-Bañuelos se localiza en la porción sur oriental del estado de Zacatecas, lo mismo que al SE de la capital Zacatecas; abarcando la mayor parte del municipio de Guadalupe y parcialmente los municipios de Genaro Codina y Ojo Caliente, con una extensión aproximada de unos 371 km².

El valle Guadalupe-Bañuelos queda limitado al poniente por la sierra de Zacatecas; al oriente por un sutil partaguas topográfico, en tanto que por el norte y sur presenta continuidad.

Esta superficie queda localizada geográficamente dentro de la poligonal cuyos vértices se enlistan a continuación:

Tabla 1 Vértices de la poligonal del acuífero Guadalupe, Bañuelos (¹)

Vértice	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	20	52.8	22	40	51.6	
2	102	21	57.6	22	38	13.2	
3	102	24	43.2	22	35	56.4	
4	102	26	45.6	22	31	12.0	
5	102	27	46.8	22	31	8.4	
6	102	29	6.0	22	31	40.8	
7	102	32	20.4	22	35	2.4	
8	102	33	57.6	22	35	34.8	
9	102	35	9.6	22	35	45.6	
10	102	35	2.4	22	35	56.4	
11	102	35	52.8	22	36	36.0	
12	102	34	51.6	22	37	37.2	
13	102	34	12.0	22	38	56.4	
14	102	34	19.2	22	39	50.4	
15	102	34	8.4	22	40	1.2	
16	102	33	43.2	22	41	20.4	
17	102	31	15.6	22	46	22.8	
18	102	30	57.6	22	45	28.8	
19	102	26	49.2	22	42	54.0	
20	102	23	9.6	22	42	39.6	
1	102	20	52.8	22	40	51.6	

¹ Gerencia de Aguas Subterráneas, CNA. 2000

1.3 División municipal

Como ya se citó, el área del acuífero estudiado comprende en su mayor parte la porción sur del municipio de Guadalupe, así como a pequeñas porciones de los municipios Genaro Codina y Ojo Caliente, colindantes al sur y al oriente, respectivamente, del municipio de Guadalupe.

La zona se encuentra bien comunicada en general, cuenta con una vía principal que cruza longitudinalmente de norte a sur, que comunica a la población de Guadalupe con las siguientes comunidades: San Jerónimo y Santa Teresa, partiendo de la carretera federal No. 49, que comunica a la zona con la ciudad de Zacatecas al poniente con Ojo Caliente y San Luis Potosí hacia el oriente. Bordeando a la sierra del poniente y luego cruzando el valle se localiza la vía del ferrocarril.

Las actividades económicas principales son agropecuarias. Se produce maíz, frijol, trigo, avena y cebada, tanto en las áreas de secano, como en las pequeñas superficies de riego dominadas por lagunas y bordos que almacenan en parte los escurrimientos superficiales. Merece mención la producción de pastos y forrajes, naturales e inducidos, para la ganadería.

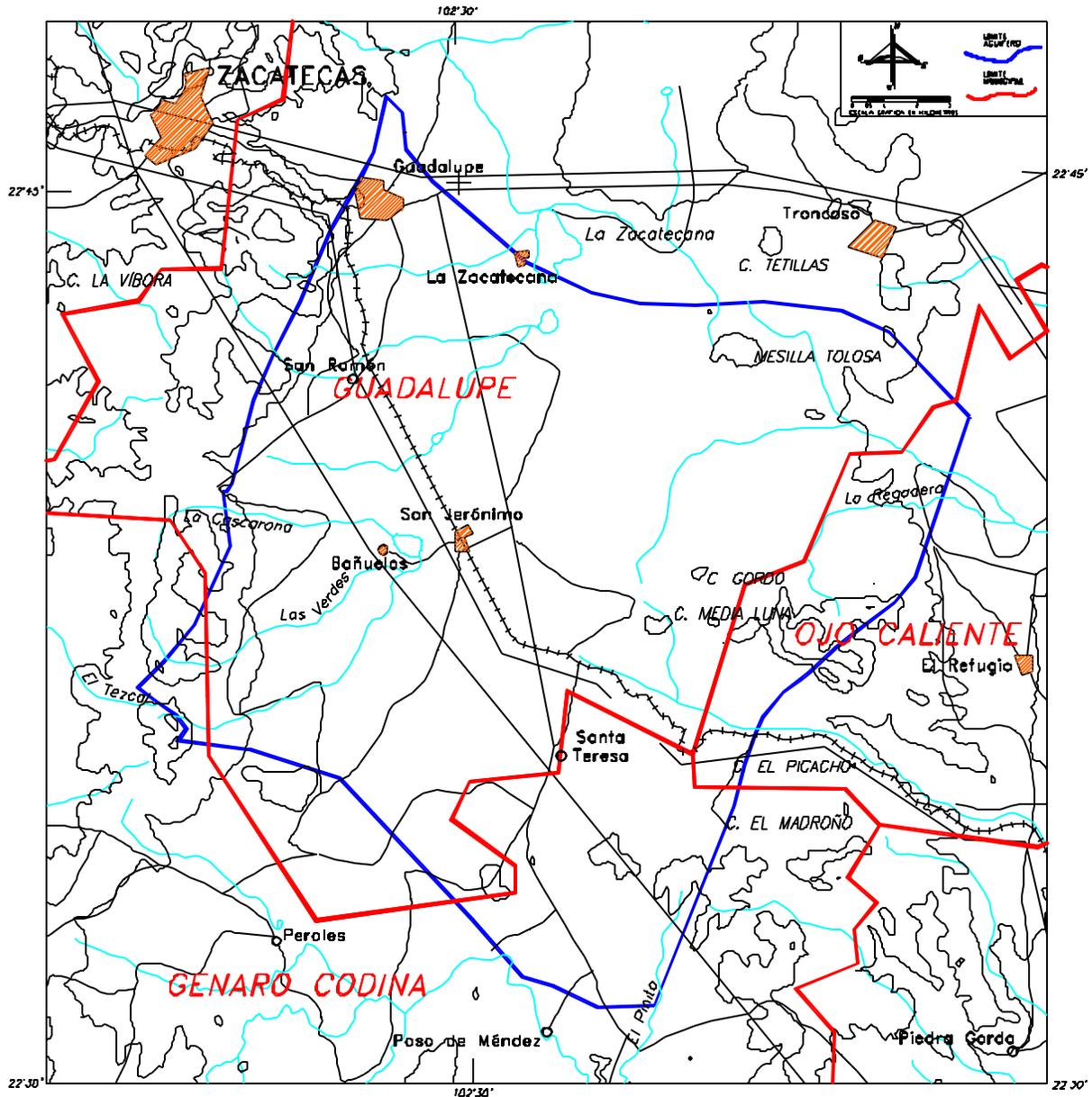


Figura 1 Acuífero de Guadalupe-Bañuelos, Zac.

1.4 Estudios técnicos realizados con anterioridad

Se tiene noticia de varios estudios geohidrológicos que fueron realizados con anterioridad. El primero data de 1982, realizado por la Cía. Investigaciones Técnicas del subsuelo ⁽²⁾. Cubre varias disciplinas relacionadas con la geohidrología, como climatología, censo de aprovechamientos del agua subterránea, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, aspectos geoquímicos, una prospección geofísica, la piezometría regional y la determinación de la potencialidad de los acuíferos. Resulta el estudio más

² Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe-Bañuelos, Zacatecas. Cía. de Investigaciones Técnicas del subsuelo S.A. Subdirección de Geohidrología SARH. 1982.

completo realizado en este acuífero, pues un estudio posterior llevado a cabo en 1989 ⁽³⁾, corresponde de hecho a una actualización de condiciones piezométricas, lo mismo que el último conocido y realizado en 1998 ⁽⁴⁾.

También se tiene noticia de otro trabajo mencionado en el estudio de 1982 que procede de SAHOP y fue realizado en 1978 ⁽⁵⁾, cuyo objetivo consistió en cuantificar la capacidad de explotación de las fuentes de abastecimiento actuales para la ciudad de Zacatecas y localizar nuevas fuentes que pudieran suministrar un caudal complementario para llegar a una dotación futura de 500 l.

2 Marco Físico

2.1 Clima

Según el Atlas Nacional ⁽⁶⁾ y de acuerdo con los criterios de Köppen y E. García, el clima prevalente se clasifica como BS₁kw, que quiere decir; semiseco, templado, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvias invernales entre 5 y 10.2, y condición canicular, que no es otra cosa sino una pequeña temporada menos lluviosa dentro de la estación lluviosa, llamada también sequía de medio verano.

La precipitación pluvial media anual es del orden de 450 mm, la cual ocurre en su mayor parte durante los meses de mayo a octubre.

La temperatura media anual se fijó en unos 16 °C como promedio en la zona estudiada; hacia el norte, a la altura de Zacatecas, el valor medio anual disminuye a 14.0.

La evaporación potencial resulta de alrededor de 2 200 mm en el área estudiada, unas 5 veces mayor que la precipitación.

2.4 Hidrografía

Desde el punto de vista de la hidrología superficial, el acuífero Guadalupe-Bañuelos queda comprendido dentro de la Región Hidrológica No. 37, Cuencas Cerradas del Norte, Sub-región Sandía-La Unión.

Como su nombre lo indica, el conjunto hidrográfico está constituido por cuencas cerradas donde los escurrimientos son de naturaleza efímera, sin que se logren establecer corrientes superficiales de importancia, y numerosas lagunas secas la mayor parte del año.

En esta región el conjunto hidrográfico esta constituido por cuencas cerradas donde los escurrimientos son de naturaleza efímera, sin que se logre establecer corrientes superficiales de importancia, y numerosas lagunas secas la mayor parte del año.

2.3 Geología

³ Actualización de condiciones piezométricas en diversas zonas geohidrológicas en el estado de Zacatecas. Coordinación de estudios geohidrológicos de la Subgerencia de Administración del Agua. CNA. 1989.

⁴ Resumen de condiciones geohidrológicas en los acuíferos del estado de Zacatecas, ubicados dentro de la Región Hidrológica Cuencas Centrales del Norte. Departamento de Aguas Subterráneas. Gerencia Estatal del estado de Zacatecas. Noviembre 1998.

⁵ Estudio de fuente de almacenamiento en Zacatecas, Zac. Ingenieros Civiles y Geología Asociados, S. A. D. G. C. S. A. P. y A de SAHOP. 1978.

⁶ Atlas Nacional del Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981.

Provincia fisiográfica

El valle de Bañuelos ocupa a la parte sur de la provincia fisiográfica Meseta Central. De su geomorfología destacan las grandes llanuras de los valles, así como las serranías que con dirección norte-sur las interrumpen; al oeste, el valle queda limitado por la sierra de Zacatecas. Dicha llanura corresponde a una serie de depósitos aluviales de relleno.

Estratigrafía

El estudio de 1982 relata que en el estudio de 1978 ⁽⁷⁾, a su vez describe los afloramientos de las diferentes unidades, a saber:

Aluvión (Qal). Son depósitos aluviales compuestos de arenas, gravas y arcillas que forman las partes bajas de los valles.

Abanicos aluviales y depósitos de pie de monte (Qpt). Esta unidad se pudo diferenciar formando principalmente las laderas de las sierras hacia la parte baja de los valles, compuestos de materiales de arenas y gravas parcialmente empacados en arcilla, a veces cementados por medio de caliches. Estas formaciones, dependiendo de su grado de cementación, son permeables en algunas partes o impermeables en otras; por lo tanto, se consideran parcialmente permeables.

Conglomerados (Qcg). Esta unidad está constituida por conglomerados empacados en arcilla, que forman cuerpos regionales que se observan sobre la parte occidental del valle de Calera Benito Juárez y aisladamente en las partes altas de la sierra, así como en el valle de Guadalupe Bañuelos. Se trata de formaciones que por su grado de cementación son prácticamente impermeables, localizándose generalmente en forma superficial en los valles.

Tobas volcánicas (T). Las tobas están compuestas generalmente por materiales arcillosos y arenosos, formando lomas de pendientes suaves que delimitan al valle. Generalmente por su granulometría y compacidad se consideran como materiales impermeables.

Rocas volcánicas (Igea). Esta unidad se caracteriza por una gran heterogeneidad. Esta constituida por series estratificadas con intercalaciones de ignimbritas. Esta formación, en lo que se refiere a su parte tobácea, es prácticamente impermeable y solamente las riolitas, cuando se encuentran fracturadas, presentan permeabilidad.

Areniscas lutitas (Arsca-Lut). Esta formación, que puede estar constituida por rocas más antiguas, está representada por areniscas compactas y lutitas que tienen características de permeabilidad nula. Se encuentran aflorando en la sierra donde se localiza la ciudad de Zacatecas en su parte norte. Desde el punto de vista hidrogeológico no tiene ninguna importancia.

⁷ Estudio de fuente de abastecimiento en Zacatecas, Zac. D.G.C.S.A.P. y A., SAHOP. Contrato No. BIOU-08/079-78, diciembre 1978.

Caliza(Clz). En forma muy local se observan afloramientos en la parte alta de la sierra de Zacatecas; son formaciones calcáreas que debido a su extensión muy local se consideran como impermeables, y no tienen ninguna importancia desde el punto de vista hidrogeológico.

Rocas Metamórficas (Net). Estas rocas están representadas por esquistos y gneisses que son rocas totalmente impermeables; se observan en el núcleo de la sierra donde se localiza la ciudad de Zacatecas y deben formar el basamento más profundo e impermeable existente en la región.

Unidades hidroestratigráficas

En el estudio de 1978 ⁽⁸⁾, fueron definidas tres unidades hidrogeológicas, que agrupan a las litológicas de acuerdo con su permeabilidad y funcionamiento geohidrológico. La primera la constituyen los materiales aluviales de relleno del valle y que están constituidos por arenas y gravas parcialmente empacadas en materiales más arcillosos. Estos constituyen el receptáculo más importante de aguas subterráneas en la región, pero debido a sus diferentes granulometrías, existen zonas en donde las permeabilidades de estos materiales de aluvión son mayores que en otras.

La segunda unidad está constituida por los materiales transicionales que comunican las sierras con los materiales de aluvión de los valles. Estas zonas que son parcialmente permeables, constituyen junto con los aluviones de los valles las zonas de recarga más importantes de los acuíferos de la región.

Por último, se tienen todas las demás unidades litológicas descritas en la estratigrafía, como son las rocas volcánicas, las tobas, los conglomerados y las rocas de los núcleos impermeables, como son las metamórficas que delimitan el basamento impermeable de la región.

Geología del subsuelo

No existe reporte alguno sobre la litología del subsuelo en los estudios geohidrológicos previos, pero se infiere por su semejanza con el acuífero colindante de Chupaderos; además se cuenta con una prospección geofísica resistiva que se describe a continuación.

En el estudio de 1982 ⁽⁹⁾, se hizo una prospección geofísica de tipo resistivo, consistente en la ejecución de 35 sondeos eléctricos verticales (SEV), distribuidos en cinco perfiles que suman 59 km de longitud. La profundidad teórica de investigación alcanzó los 1 000 m, empleándose el sistema Schlumberg en la disposición de los electrodos. Además, en este trabajo se integró una prospección geofísica realizada en 1978, y se correlaciona en su zona norte con la porción sur del valle de Chupaderos, colindante con la presente área de estudio.

Como no existía ni existe un levantamiento geológico de detalle, la correlación estratigráfica se basa en la geología consignada en los planos de INEGI, hoja Zacatecas F-13-B-58 y Guadalupe F-13-B-68. Por medio de los cinco perfiles estudiados, se observa a la vertical de los mismos, la presencia de cinco unidades principales.

⁸ Op. Cit. Estudio de fuente de abastecimiento en Zacatecas, Zac. D.G.C.S.A.P. y A., SAHOP. 1978.

⁹ Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe-Bañuelos, Zacatecas. Cía de Investigaciones Técnicas del Subsuelo S.A. Subdirección de Geohidrología SARH. 1982.

La primera unidad está constituida por formaciones sedimentarias de caliza y lutitas (300-560 ohmios-metro), lutitas y areniscas (80-200 ohmios-metro) así como formaciones metamórficas y cuerpos intrusivos; todo este conjunto es de baja permeabilidad.

La segunda unidad está integrada por formaciones y conjuntos ígneos que llegan a identificarse como riolitas en ciertas áreas. Corresponde generalmente con las resistividades de 98 a 400 ohmios-metro, indicando generalmente el grado de fracturamiento por el valor más alto. No se descarta la posibilidad de que sean cuerpos intrusivos dentro de depósitos terciarios antiguos. Toda esta unidad debería ser impermeable salvo en fracturas.

La tercera unidad corresponde a los materiales granulares de compactación variable, con matriz arcillosa para los valores resistivos inferiores a 25 Ohmios,metro, y de tipo conglomerado para las resistividades mayores (70-80 Ohmios,metro), por consecuencia, la permeabilidad de estos horizontes es variable. Las formaciones de esta tercera unidad son las más desarrolladas en el área estudiada.

La cuarta unidad se correlaciona con los depósitos continentales cuya resistividad varía de 25 a 200 ohmios-metro; está constituida por alternancias de conglomerados, areniscas y arenas empacadas a veces en matriz arcillosa. La permeabilidad de estos materiales es variable, generalmente va bajando a medida que crece el valor resistivo.

La quinta y última unidad corresponde con los depósitos superficiales, o a veces suelos, producto de la alteración del material subyacente. Su espesor no pasa de los 10 a 25 metros, con una permeabilidad variable.

En el estudio de 1982 ⁽¹⁰⁾ se asienta que con base en los resultados de las diversas exploraciones directas en los diversos valles incluidos en dicho trabajo, se determinó que: ... *"en general los acuíferos están constituidos de una alternancia de sedimentos granulares, conglomerados heterogéneos tanto vertical como horizontalmente, tobas riolíticas y riolitas fracturadas. Los sedimentos varían de arcillas a gravas y los conglomerados están formados por rocas sedimentarias y volcánicas, generalmente empacadas en una matriz arcillosa o arcilla arenosa."*

3 Hidrología Subterránea

3.1 El acuífero

El acuífero está contenido en los materiales aluviales que rellenan al valle de Bañuelos; es decir, en un medio granular, quedando limitado hacia el Oeste por la sierra de Zacatecas, que fue originada por intrusivos del Terciario Inferior, generando una amplia zona de metamorfismo en las formaciones de rocas pre-existentes, constituidas principalmente por calizas, lutitas y areniscas que geohidrológicamente y en conjunto funcionan como barreras impermeables.

De acuerdo con los perfiles geofísicos, su espesor es variable, desde unas dos decenas de metros en los perfiles P-4, P-6 y P-10, hasta más de 600 m en los perfiles P-8 y P-7.

¹⁰ Op. Cit. Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe-Bañuelos, Zacatecas. 1982

Estos sedimentos granulares están afectados por diques volcánicos o derrames de riolita afectados por fracturas. Todos los depósitos de materiales granulares descansan sobre formaciones calizas del Cretácico que constituyen el basamento geohidrológico.

Por lo que se refiere a la calidad del agua subterránea y de acuerdo con los índices químicos analizados en 1982 ⁽¹¹⁾, se puede generalizar que las aguas subterráneas son de buena calidad, pues en su mayor parte cumplen con las normas estipuladas para el agua potable. Sin embargo, es bueno aclarar que hacia la porción norte, en los alrededores y debajo de la Laguna Zacatecana, se notaba cierto deterioro, seguramente originado por el foco de contaminación que representa dicha laguna de oxidación de aguas residuales de Zacatecas.

En relación con las características hidráulicas del acuífero, en el estudio de 1982 ⁽¹²⁾, se reportan los resultados de 4 pruebas de bombeo, que sumadas a otras 4 de estudio de 1978 ⁽¹³⁾, denotan transmisividades que varían entre 0.015 y $44.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, siendo los valores más consistentes los de la zona de Bañuelos, con valores altos. La única determinación del coeficiente de almacenamiento dio un valor de 0.2 a 0.29; también en el valle de Bañuelos.

3.2 Niveles del agua subterránea

Profundidad del nivel estático

Los aspectos piezométricos fueron abordados en el estudio de 1982 ⁽¹⁴⁾, en el de 1989 ⁽¹⁵⁾, y por última ocasión en 1995 ⁽¹⁶⁾. En referencia a las configuraciones más recientes y por lo que toca a las profundidades del nivel estático, los valores varían entre 100 y 5 m, los más profundos hacia las estribaciones de la sierra de Zacatecas en la porción SW, y los más someros en la porción norte, en los alrededores de la presa de oxidación de aguas residuales La Zacatecana. Como un valor promedio en el área configurada puede aceptarse entre 11 y 12 m.

Configuración del nivel estático

Por lo que toca a la configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático, para la misma fecha de 1995 se tiene el siguiente esquema de flujo subterráneo. La zona de re-carga a 105 acuíferos de la planicie se infiere que está en la porción SW de la configuración, desde Perales, según apunta la curva con mayor elevación, 2 360 msnm. Esta recarga genera un flujo subterráneo con dirección general SW-NE, hasta llegar a la altura de San Jerónimo, donde cambia ligeramente de dirección hacia el norte, y se deriva una parte del flujo general hacia Bañuelos, donde se manifiesta un cono de abatimientos producto de una sobreexplotación local; prosigue su recorrido hacia el norte para arribar a La Zacatecana, donde el agua residual represada se infiltra y recarga someramente al acuífero, según se advierte por la posición y forma de la curva con valor 2 210 msnm.

¹¹ Op. Cit. Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe Bañuelos, Zacatecas. ... 1982.

¹² Op. Cit. Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe Bañuelos, Zacatecas. ... 1982.

¹³ Op. Cit. Estudio de fuente de abastecimiento en Zacatecas, Zac. ... 1978

¹⁴ Op. Cit. Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe Bañuelos, Zacatecas. ... 1982.

¹⁵ Op. Cit. Actualización de condiciones piezométricas en diversas zonas geohidrológicas en el estado de Zacatecas... 1989.

¹⁶ Op. Cit. Resumen de condiciones geohidrológicas... 1998.

En la configuración de 1982, las curvas trazadas cubrían una superficie más amplia, pasando la Laguna Zacatecana, luego la carretera Guadalupe-Troncoso, y prosiguiendo hacia el norte llegar hasta el poblado Osiris con la curva 2 170 msnm.

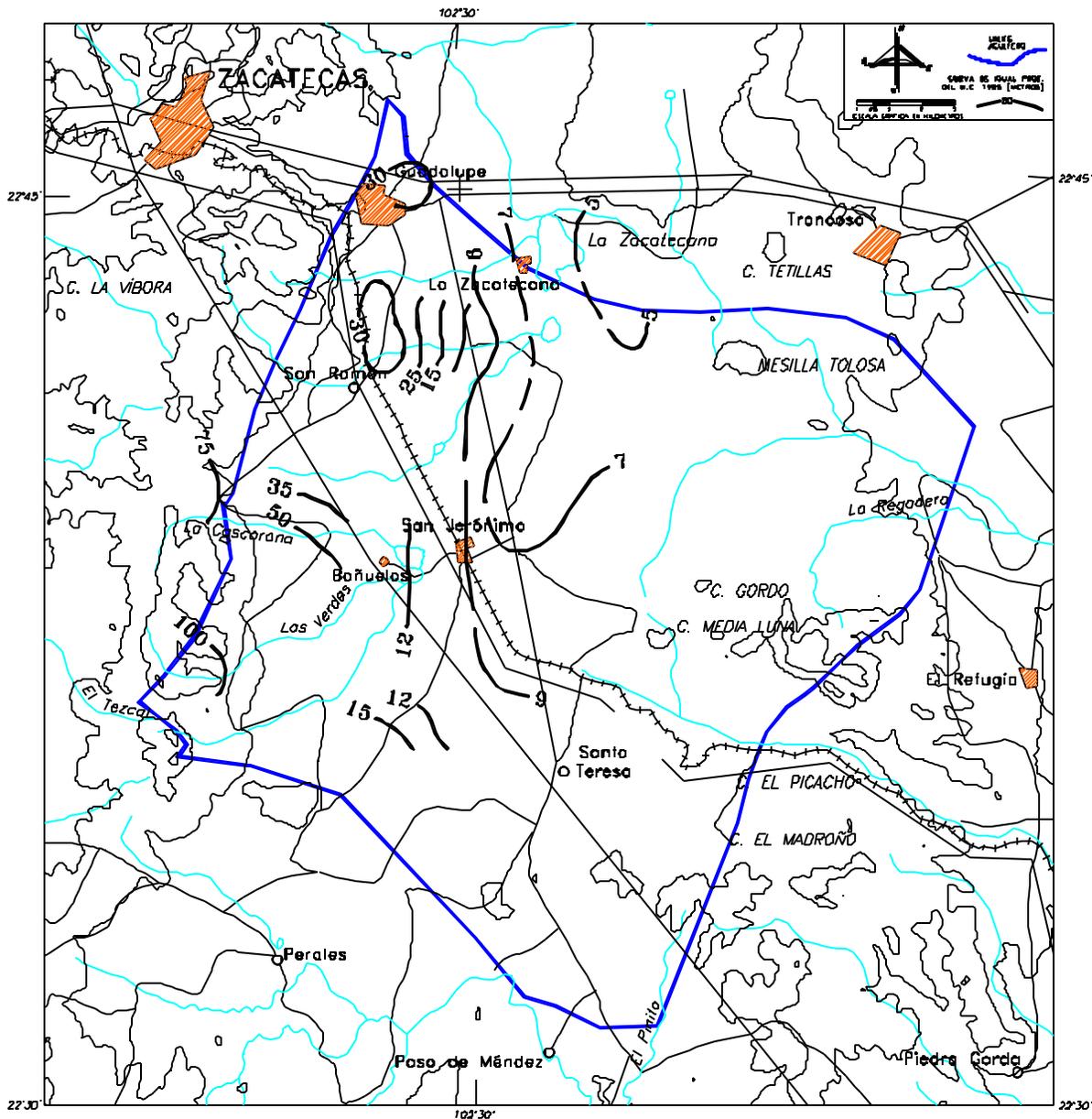


Figura 2 Profundidad de 1995 en m.

Con base en la información descrita y respecto a las interdependencias geohidrológicas del valle estudiado con las colindantes, se asentó desde 1982, que había comunicación tanto al sur como hacia el

norte. Hacia el sur los acuíferos del valle de Bañuelos parecen tener continuidad; probablemente relacionados con los que explotan los pozos Viboritas y Perales, y es por esta dirección donde reciben una alimentación subterránea, por debajo de los materiales superficiales que afloran. Hacia el norte, los acuíferos de Bañuelos tenían continuidad a través de los materiales de relleno, manifestando una salida subterránea en dicha dirección.

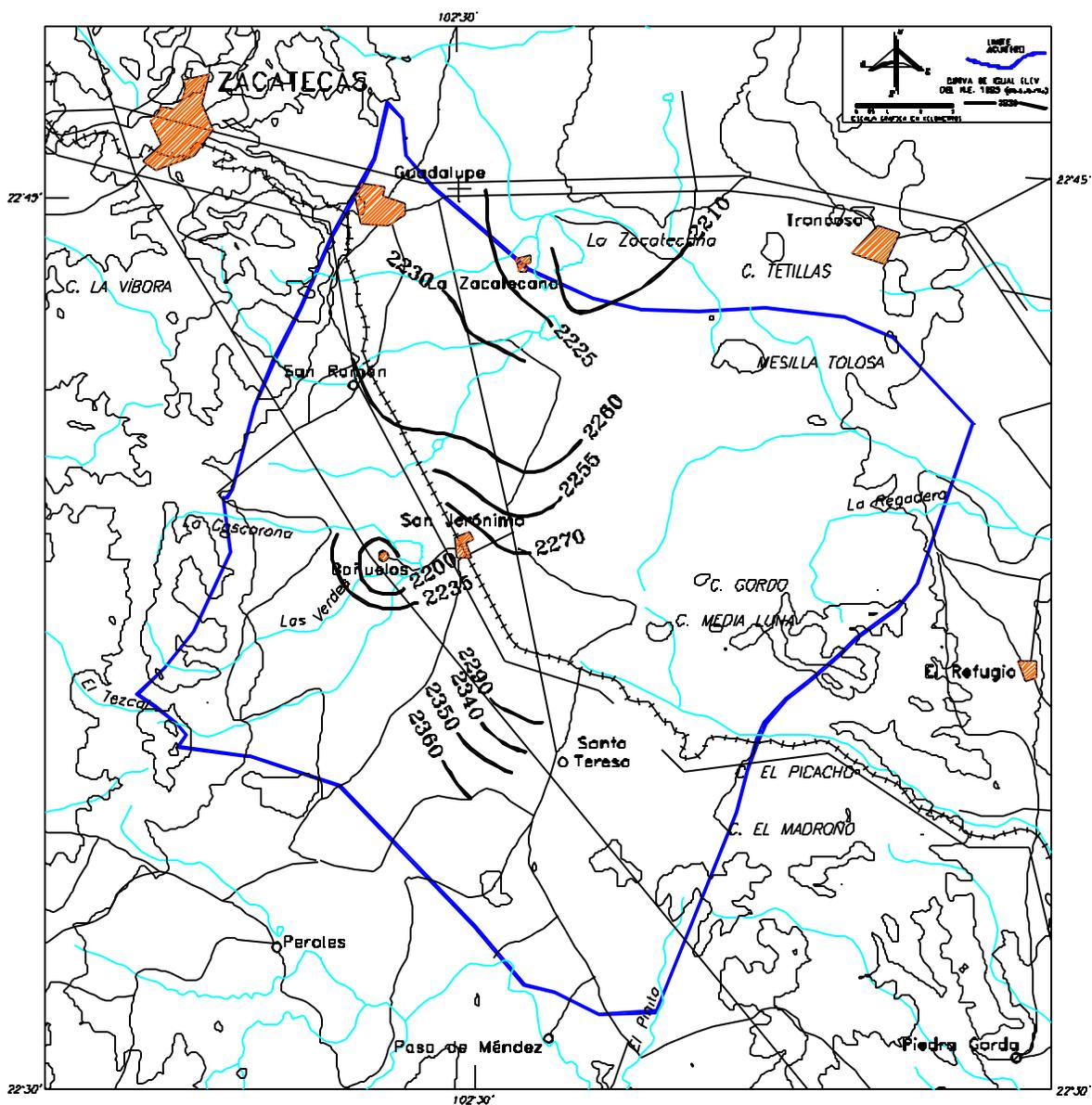


Figura 3 Elevación del nivel estático, 1995 en msnm.

Lateralmente el valle de Guadalupe Bañuelos esta confinado por estructuras impermeables: por el poniente la sierra de Zacatecas compuesta por rocas volcánicas masivas, y por el oriente una serie de ce-

ros compuestos de alternancias de calizas y lutitas que sobreyacen a rocas metamórficas y cuerpos intrusivos, cuyo conjunto es prácticamente impermeable, así como rocas ígneas intrusivas masivas, también impermeables.

Evolución del nivel estático

En 1982 se asentaba que había un abatimiento piezométrico del orden de 4 m anuales en el periodo 1978-1982, indicativo de una sobre explotación de los acuíferos; esto debió agravarse a partir de 1983 con la operación de nuevos pozos de SAHOP para abastecimiento de la capital Zacatecas.

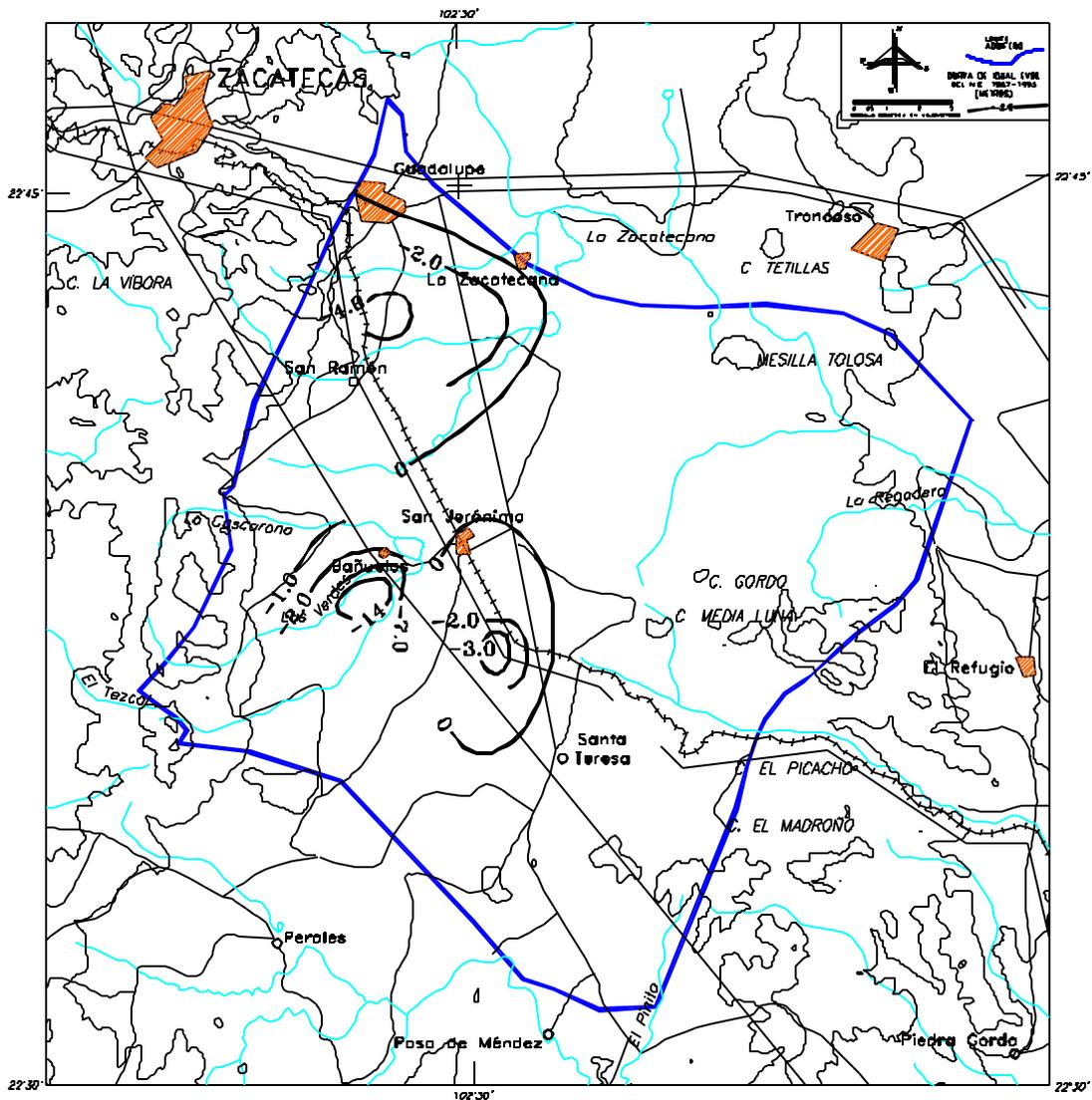


Figura 4 Evolución del nivel estático en m, 1987-1995.

En el presente trabajo se consigna la evolución habida entre 1987 y 1995. Aquí es más palpable la sobreexplotación de los acuíferos, pues los abatimientos piezométricos máximos son del orden de 14 m en el área de Bañuelos, correspondiendo a una sobre explotación local y los mínimos son de 2 m en los alrededores de la laguna Zacatecana y nula debajo de la misma.

Haciendo caso omiso de esta anomalía puntual, el promedio de abatimientos en el valle se debe ser del orden de 2 a 3 m, es decir, una velocidad de abatimiento de 28 a 43 cm anuales.

3.3 Censo de aprovechamientos e hidrometría

Al parecer el censo hecho en el estudio de 1982, reportó la existencia de 183 aprovechamientos de los cuales 142 correspondían a norias, 37 a pozos, 3 a manantiales y 1 clasificado como tajo o galería construida a cielo abierto. De acuerdo al uso a que se destinaba el agua alumbrada, 111 aprovechamientos eran de uso agrícola, 15 para abastecimiento de agua potable, 44 para uso doméstico, 9 para abrevadero del ganado y 4 sin clasificar. Las extracciones por bombeo se calcularon en dicho trabajo de 1982 (¹⁷), siendo del orden de 4'302,116 m³/año, de los cuales el uso agrícola ocupaba 1'461,942, para agua potable 2'838,240, y los restantes 1,934 m³/año se repartían entre los usos de abrevadero y doméstico.

En el reporte de CNA de 1998 (¹⁸), se reporta la existencia 114 aprovechamientos activos y 49 fuera de operación. De los activos 35 son pozos y 79 norias y 70 son utilizados con fines agrícolas, 16 al público urbano y 28 doméstico pecuario. Por lo que respecta a las extracciones, se reportan en 8.7 Mm³/año, de los cuales 5.0 se usan en las actividades agrícolas, 2.5 en el uso público urbano y los restantes 1.2 en labores domésticas y pecuarias.

4 Balance de aguas subterráneas

4.1 Ecuación de Balance

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga) representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por el almacenamiento no renovable del subsuelo.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots\dots\dots (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa, al cambio de almacenamiento de una unidad hidrogeológica, representada como sigue:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento en} \dots\dots\dots(2) \\ \text{la unidad hidrogeológica}$$

¹⁷ Op. Cit. Estudio Geohidrológico de la zona Guadalupe Bañuelos, Zacatecas... 1982.

¹⁸ Resumen de condiciones geohidrológicas en los acuíferos del estado de Zacatecas, ubicados dentro de la región hidrológica Cuencas Cerradas del Norte. Departamento de Aguas Subterráneas. Gerencia Estatal Zacatecas. CNA. 1998.

Más específicamente la ecuación queda como sigue:

$$\begin{aligned} & [Eh + I_1 (\text{Volumen lluvia}) + I_2 (\text{ Uso público urbano}) + I_3 (\text{Usos agrícola + otros})] - \\ & [\text{Sh} + Q_{\text{base}} + \text{Manantiales} + \text{Evapotranspiración} + \text{Extracción}] = \\ & V_d S = \Delta A \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

4.2 Recarga

La recarga total esta constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

Recarga natural

La recarga natural de los acuíferos es originada principalmente, por los escurrimientos superficiales y tiene lugar a lo largo de los cauces, en los abanicos aluviales y en los pie de monte de los flancos montañosos así como la precipitación pluvial que captan las rocas expuestas en las sierras y lomeríos.

La recarga producto de infiltración de la lluvia resultó ser de 6.0 Mm³/año (¹⁹), al considerar un área de valle de 190 km² y coeficiente de infiltración de 0.07 y la lluvia correspondiente.

Recarga inducida

Se incluye como componentes de la recarga inducida a las fugas en la red de canales de riego, las fugas en las redes de agua potable y de drenaje en las ciudades, las infiltraciones por sobre riego directamente en las parcelas, ya sea por riego mediante pozos como por las aguas residuales, en este caso resultó de 1.3 Mm³/año.

Flujo horizontal

De acuerdo con la piezometría existentes, las entradas subterráneas resultaron ser prácticamente iguales a las salidas por este concepto, de 3.5 Mm³/año.

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1997, y a la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

¹⁹ Op. Cit. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Nuevo León ... Cuadro No. 6.

i = gradiente hidráulico

4.3 Descarga

Las salidas del sistema acuífero están integradas por las descargas naturales que en condiciones originales presentaba el sistema y que aún cuando hayan sido modificadas por las condiciones actuales de explotación, aún persisten; más las descargas artificiales por efecto del bombeo en los pozos y por los niveles freáticos resultantes.

Evapotranspiración

Aún en las porciones bajas de la zona no aparecen niveles someros que causen esta salida.

Descargas naturales

En la zona no existen descargas naturales por corrientes con gastos base, la profundidad de los niveles estáticos del acuífero, es superior a 10 ni, por lo que este concepto resulta nulo.

Extracciones

Este concepto se ha calculado en 8.7 Mm³/año, considera la extracción en pozos y norias.

Flujo subterráneo

Las descargas por flujo subterráneo que siempre ha tenido el Valle consisten en el flujo subterráneo que pasa hacia otras zonas, como se muestra en la configuración de los niveles estáticos, como se mencionó son prácticamente igual a las salidas de 3.5 Mm³/año.

4.4 Cambio de almacenamiento

El abatimiento en la zona geohidrológica entre 1987 y 1995, resultó ser de 0.25 m/año, que sobre un área de 110 km², donde ocurre resulta un volumen a costa del almacenamiento de -1.5 Mm³/año. Los datos mencionados anteriormente, sobre el balance, se muestran en la siguiente tabla 2.

Tabla 2 balance de aguas subterráneas.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ACUÍFERO GUADALUPE BAÑUELOS, ZAC.				1995
Área total del acuífero			km ²	371
RECARGA TOTAL				
	Área de valle		km ²	190
	Coefficiente	I ₁		0.07
	Precipitación		mm/año	450.0
Recarga natural por lluvia			Mm ³ /año	6.0
Entradas horizontales			Eh	Mm ³ /año
Total de recarga natural				Mm ³ /año
	Público Urbano	I ₂		0.10
Recarga inducida P.U.				Mm ³ /año
	Agrícola más otros	I ₃		0.20
Recarga inducida Agrícola + otros				Mm ³ /año
RECARGA TOTAL				Mm ³ /año
DESCARGA TOTAL				10.7

Salidas horizontales		Sh	M m ³ /año	3.5
Caudal base		Q _{base}	M m ³ /año	0.0
Evapotranspiración			M m ³ /año	0.0
	114	Extracción total	M m ³ /año	8.7
	70	Agrícola	M m ³ /año	5.0
	16	Público urbano	M m ³ /año	2.5
		Industrial	M m ³ /año	0.0
	28	Otros	M m ³ /año	1.2
DESCARGA TOTAL			M m ³ /año	12.2
Cambio de almacenamiento		ΔA	M m ³ /año	-1.5
Coeficiente de almacenamiento		S		0.05327
Volumen drenado (0.25 m/año)		Vd	M m ³ /año	28
Area de abatimiento			Km ²	110

5 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente ⁽²⁰⁾:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidad media anual} &= \text{Recarga total} - \text{Descarga natural} - \text{Volumen anual de} \\ \text{de agua subterránea en una} &\text{ media anual} \text{ comprometida} \text{ extracción de agua} \dots\dots(5) \\ \text{unidad hidrogeológica} & & & \text{ subterránea concesionada en el RE-} \\ & & & \text{PDA} \end{aligned}$$

5.1 Recarga total media anual

La recarga total media anual (Rt) de acuerdo con el balance del inciso anterior resultó de 10.7 Mm³/año, de los cuales corresponden 9.5 Mm³/año como recarga natural y 1.2 Mm³/año como recarga inducida.

5.2 Descarga natural comprometida

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes. Para el caso de la zona en estudio en donde los manantiales ya están contemplados en las extracciones, y no existe caudal base, así como tampoco existen salidas comprometidas de agua subterránea hacia otros acuíferos, la descarga natural comprometida es nula.

5.3 Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el RE-PDA

El volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el Registro Público de Derechos del Agua (RE-PDA), al 30 de abril de 2002, consiste en 12'680,695 m³/año.

5.4 Disponibilidad de aguas subterráneas

La disponibilidad de aguas subterráneas de acuerdo la expresión (5), resulta ser de -1'980,695 m³/año.

²⁰ NOM-011-CNA-2000, que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

$$-1'980,695 = 10'700,000 - 0.0 - 12'680,695$$

La cifra indica que no existe volumen disponible para nuevas concesiones, en este sentido, considerando las condiciones geohidrológicas de explotación que predominan en el acuífero de Guadalupe Bañuelos, se recomienda ubicar las nuevas captaciones fuera de la zona donde ya existen abatimientos de los niveles de agua subterránea.

México, D.F., 30 de abril de 2002