

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Paredón (0508), Estado
de Coahuila***

*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.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE COAHUILA							
0508	PAREDÓN	21.2	1.1	25.112735	21.2	0.000000	-5.012735

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.



Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE
AGUA EN EL ACUÍFERO 0508 PAREDÓN, ESTADO
DE COAHUILA***

México, D.F. Diciembre 2008

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	3
Antecedentes	3
1.1. Localización	3
1.2. Situación administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1. Provincias Fisiográficas	6
3.2. Clima	6
3.3. Hidrografía	7
3.4. Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA	8
4.1. Estratigrafía	9
4.2. Geología estructural	13
4.3. Geología del subsuelo	14
5. HIDROGEOLOGÍA	14
5.1. Tipo de acuífero	14
5.2. Parámetros hidráulicos	14
5.3. Piezometría	15
5.4. Comportamiento hidráulico	15
5.4.1. Profundidad al nivel estático	15
5.4.2. Elevación del nivel estático	16
5.4.3. Evolución del nivel estático	17
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
7.1. Entradas	20
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	20
7.1.2. Retornos de riego (Rr)	20
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	21
7.2. SALIDAS	22
7.2.1. Bombeo (B)	22
7.2.2. Descarga natural por medio de manantiales (Dm)	22
7.3. Cambio de almacenamiento (ΔVS)	22
8. DISPONIBILIDAD	24
8.1. Recarga total media anual (Rt)	24
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	24
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)	24
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)	25
9. BIBLIOGRAFÍA	25

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1. Localización

El Acuífero Paredón, definido con la clave 0508 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción suroriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 35' y 26° 20' de latitud norte y los meridianos 100° 43' y 101° 40' de longitud oeste abarca una superficie aproximada de 6,291 km² (figura 1).

Colinda al norte con el acuífero Castaños; al sur con General Cepeda-Sauceda y Saltillo-Ramos Arizpe; al oeste con Valle de San Marcos y La Paila. Al este colinda con Campo Jaritas, Campo Mina y Campo Durazno, del estado de Nuevo León.

Geopolíticamente abarca gran parte del municipio Ramos Arizpe y algunas porciones de los municipios Mina, General Cepeda y Castaños. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

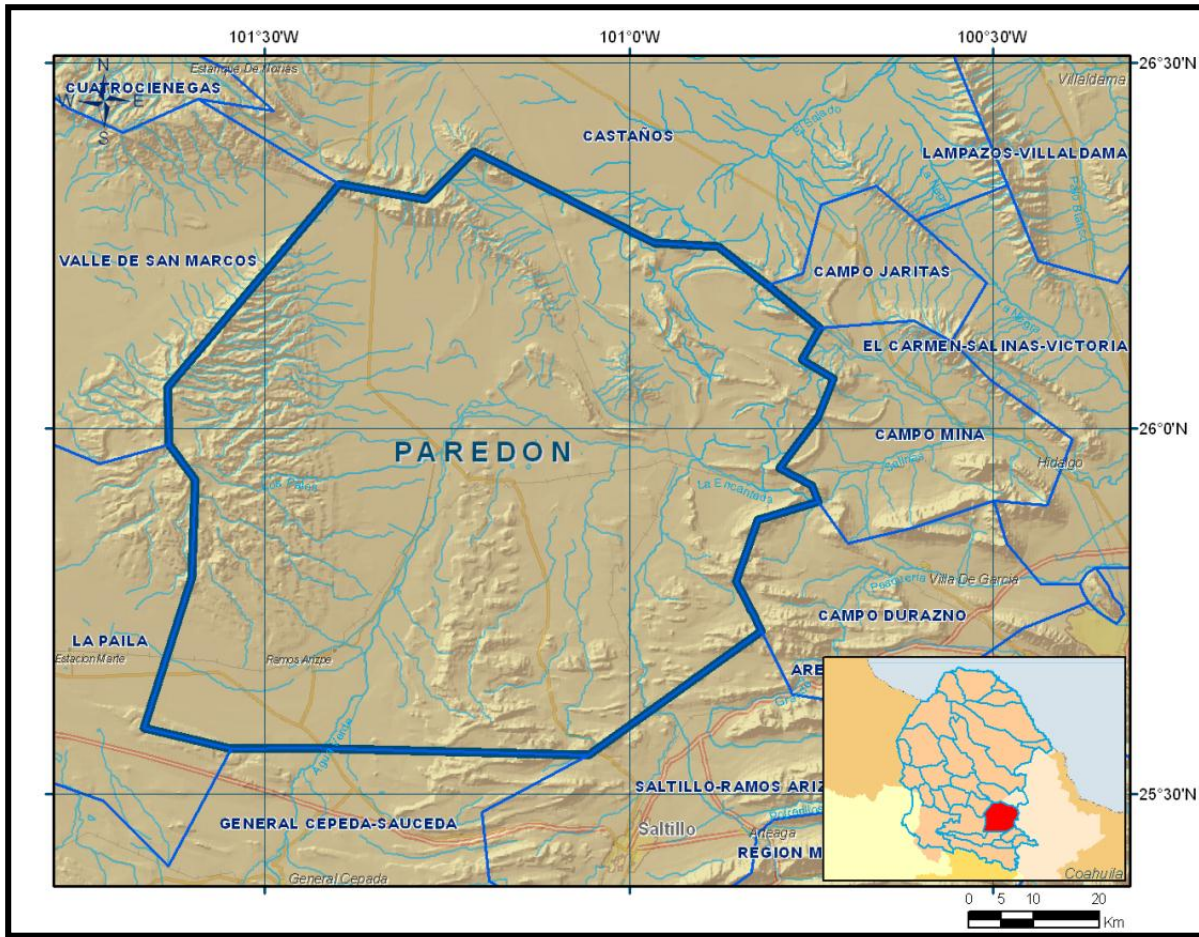


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0508 PAREDON							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	16	48.5	26	18	45.0	
2	101	12	50.1	26	22	43.0	
3	101	12	8.7	26	22	22.1	
4	100	58	0.7	26	15	12.9	
5	100	52	42.6	26	14	52.1	
6	100	48	36.5	26	11	43.8	
7	100	44	17.9	26	8	11.4	
8	100	45	47.1	26	5	36.1	
9	100	43	10.3	26	4	1.0	
10	100	44	27.6	26	0	54.9	
11	100	47	37.2	25	56	43.5	
12	100	44	58.2	25	55	15.8	
13	100	44	28.4	25	53	55.1	
14	100	49	27.3	25	52	28.2	
15	100	51	10.8	25	47	22.9	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	49	7.8	25	43	17.7	
17	101	3	23.3	25	33	8.4	
18	101	26	51.3	25	33	44.3	
19	101	32	50.5	25	33	38.8	
20	101	40	2.3	25	35	21.9	
21	101	36	4.3	25	47	43.9	
22	101	35	48.8	25	55	45.5	
23	101	37	55.2	25	58	39.3	
24	101	38	4.7	26	3	17.9	
25	101	23	55.0	26	20	1.1	
1	101	16	48.5	26	18	45.0	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Paredón pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Coahuila. Dentro del territorio que cubre el acuífero Paredón actualmente no se encuentra en vigor ningún decreto de veda.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2008, el municipio Ramos Arizpe se clasifica como zona de disponibilidad 3, Mina como zona de disponibilidad 4 y General Cepeda y Castaños zona de disponibilidad 6.

El principal usuario es el agrícola. En su territorio existe la Unidad de Riego Las Norias y actualmente no se ha constituido Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca Río Bravo, instalado el 21 de enero de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo varios estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos encontrar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR EN LA ZONA DE PAREDÓN, COAHUILA, elaborado por la compañía ININSA, S.A. para la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1981. Los objetivos de este estudio fueron: Determinar el volumen de extracción, estimar la magnitud de la recarga al acuífero y conocer su procedencia, describir la geometría del acuífero y localizar áreas favorables para la explotación del acuífero.

Se efectuó la actualización del censo de aprovechamientos de agua subterránea realizado en el año de 1977 por la Residencia de Geohidrología y de Zonas Áridas en el Estado, encontrándose que en Septiembre de 1981 la cantidad de aprovechamientos ascendía a un total de 533, de los cuales 294 eran pozos, 190 norias, 48 manantiales y un tajo. El uso principal del agua extraída por estos aprovechamientos era el agrícola (125), el ganadero (57) y el potable e industrial (14).

Se tomaron muestras de agua de 51 aprovechamientos, para determinar la calidad del agua subterránea. El esquema de flujo subterráneo definido por la posición de los niveles del agua indicaba que el acuífero de la zona no se encontraba sobreexplotado.

CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE PAREDÓN, COAHUILA, elaborado por la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Coahuila, Departamento de Aguas Subterráneas, en 1999. Los objetivos del estudio fueron: a) obtener un conocimiento general de la geometría del acuífero, b) conocer en forma preliminar el volumen actual de explotación de agua subterránea, c) determinar la recarga del acuífero en

explotación, d) delimitar áreas con agua de buena calidad y e) recomendar un régimen de explotación racional y definir áreas favorables para el emplazamiento de nuevas captaciones.

Se realizaron actividades de campo que incluyeron de captaciones de agua subterránea, pruebas de bombeo, muestreo de agua, aforo de manantiales, nivelación topográfica de brocales y sondeo geofísicos. Se realizó también la interpretación y análisis de la información geofísica, geológica, hidrogeoquímica y de hidrología subterránea.

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO DE RESPALDO DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO PAREDÓN, ESTADO DE COAHUILA, elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Nacional del Agua en 2006. Este estudio se realizó con el objetivo de plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que recibe el acuífero. Para ello se realizaron actividades de campo que incluyeron el censo, piezometría, hidrometría de las extracciones, nivelación de brocales y pruebas de bombeo.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincias fisiográficas

El acuífero se encuentra localizado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, y una pequeña porción en la provincia Sierras y Llanuras del Norte (INEGI).

La Sierra Madre Oriental está conformada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico los que se encuentran plegados. Estos sedimentos corresponden a pliegues que incluyen valles en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en el centro de los anticlinales. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente de serranía.

3.2. Clima

El clima de la zona se puede clasificar como semiárido por su grado de humedad, cálido por su temperatura y con lluvias en verano. Se analizaron los registros de las estaciones Alto de Norias, Ejido Reata, Hipólito, Ramos Arizpe para el periodo comprendido entre 1996 a 2005 y la estación Santo Domingo de 1985 a 2002.

El período más caluroso se presenta de mayo a septiembre con temperaturas superiores a los 21° C, y el menos caluroso se presenta de enero a diciembre con temperaturas inferiores a los 8° C. La temperatura promedio es de 14.5° C.

El período de lluvias corresponde los meses de mayo a octubre y el período de estiaje se presenta de noviembre a abril. La precipitación promedio es de 218 mm. Con los datos de la estación climatológica Hipólito la evaporación potencial promedio anual es de 1721 mm.

3.3. Hidrografía

El acuífero Paredón se ubica dentro de la Región Hidrológica 24, Río Bravo, subcuenca Río Bravo-San Juan (24B). La mayor parte de su territorio está constituido por tierras planas, con altitud media variante entre 1000 y 1800 msnm. Las corrientes de su porción norte drenan hacia el río Bravo. Existen además cuencas endorreicas como las de las lagunas Tortugas y Chancaplio, dentro del área de la cuenca del río Conchos.

El río San Juan, es la corriente principal de esta cuenca, es el segundo en importancia por la margen derecha del río Bravo. Dada su ubicación, la cuenca del río San Juan queda expuesta a frecuentes perturbaciones ciclónicas del Golfo, que periódicamente causan avenidas extraordinarias. Los escurrimientos superficiales de la cuenca, calculados de acuerdo a la precipitación, permeabilidad del terreno y topografía, son del orden de los 20 a 50 mm anuales.

Sobre el Arroyo Patos existen 5 presas derivadoras con una capacidad de almacenamiento de 8.292 hm³/año que se utilizan para el riego agrícola de 849 has. Sobre el Arroyo La Encantada existen 8 presas derivadoras de aguas residuales con capacidad total de 13.76 hm³/año para el riego de 1376 has. Sobre el Arroyo El Mimbres existen 18 presas derivadoras que operan un volumen total de 12.21 hm³/año destinados al riego de 1223 has.

3.4. Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos de la zona son el resultado de la combinación conjunta de la preexistencia de elementos paleogeográficos y la deformación tectónica causada por la Orogenia Laramide, que dieron forma original al relieve, el cual posteriormente ha sido modificado por procesos exógenos de intemperismo y erosión. La parte sur es el área topográficamente más alta y más accidentada que la parte central y norte de la misma. Existen pequeños valles intermontanos orientados E-W paralelos a las estructuras de las sierras en la parte centro meridional de la zona. Las formas del relieve en las porciones sur y oriente de la zona están representadas por una serie de sierras estrechas y alargadas en dirección E-W, conformadas por las lutitas y areniscas del Grupo Difunta, dispuestas en estructuras anticlinales. Los valles intermontanos existentes entre estas sierras corresponden a sinclinales rellenos por depósitos aluviales.

La Sierra El Potrero, orientada también en sentido N-S y conformada por rocas del Grupo Difunta, es una forma del relieve que representa las márgenes de la Paleopenínsula de Coahuila, en donde la suave inclinación de las capas hacia el oriente produce una suave pendiente topográfica en ese sentido, mientras que al poniente, las capas de areniscas más resistentes a la erosión que las de lutitas, producen salientes dispuestas en forma de terrazas.

Las sierras del norte (La Gavia y La Chata) están conformadas por un anticlinal orientado NW-SE y edificadas por rocas calizas del Cretácico Inferior; son estrechas, alargadas y de fuerte pendiente en sus flancos como consecuencia de la gran competencia de las calizas a la deformación tectónica.

La Sierra La Paila es una estructura homoclinal de rocas calizas del Cretácico Inferior que se caracteriza por presentar flancos de suave pendiente topográfica. Esta estructura es parte de la Paleopenínsula de Coahuila que actuó como un elemento prácticamente estable a la deformación tectónica.

El valle aluvial del Arroyo Patos está labrado en sentido N-S en la zona de contacto entre las rocas calizas del Cretácico Inferior de la Paleopenínsula de Coahuila y las rocas del Grupo Difunta de La Cuenca de Parras. Su cambio de dirección hacia el oriente obedece posiblemente a la presencia de la Falla San Marcos.

Los valles aluviales del Arroyo El Mimbres y Arroyo La Encantada, están labrados sobre las lutitas y areniscas del Grupo Difunta, son valles transversales a las estructuras anticlinales orientados E-W, debido a que los cauces fluviales fueron socavados siguiendo el fracturamiento predominantes con dirección N-S.

4. GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona, está constituida por rocas ígneas intrusivas, metamórficas, areniscas y conglomerados, varían del Mesozoico (Jurásico) al Cenozoico (Cuaternario).

La geología regional de la zona está representada básicamente por rocas sedimentarias marinas y continentales, cuyo registro estratigráfico comprende edades que van del Triásico (Mesozoico) al Reciente. La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

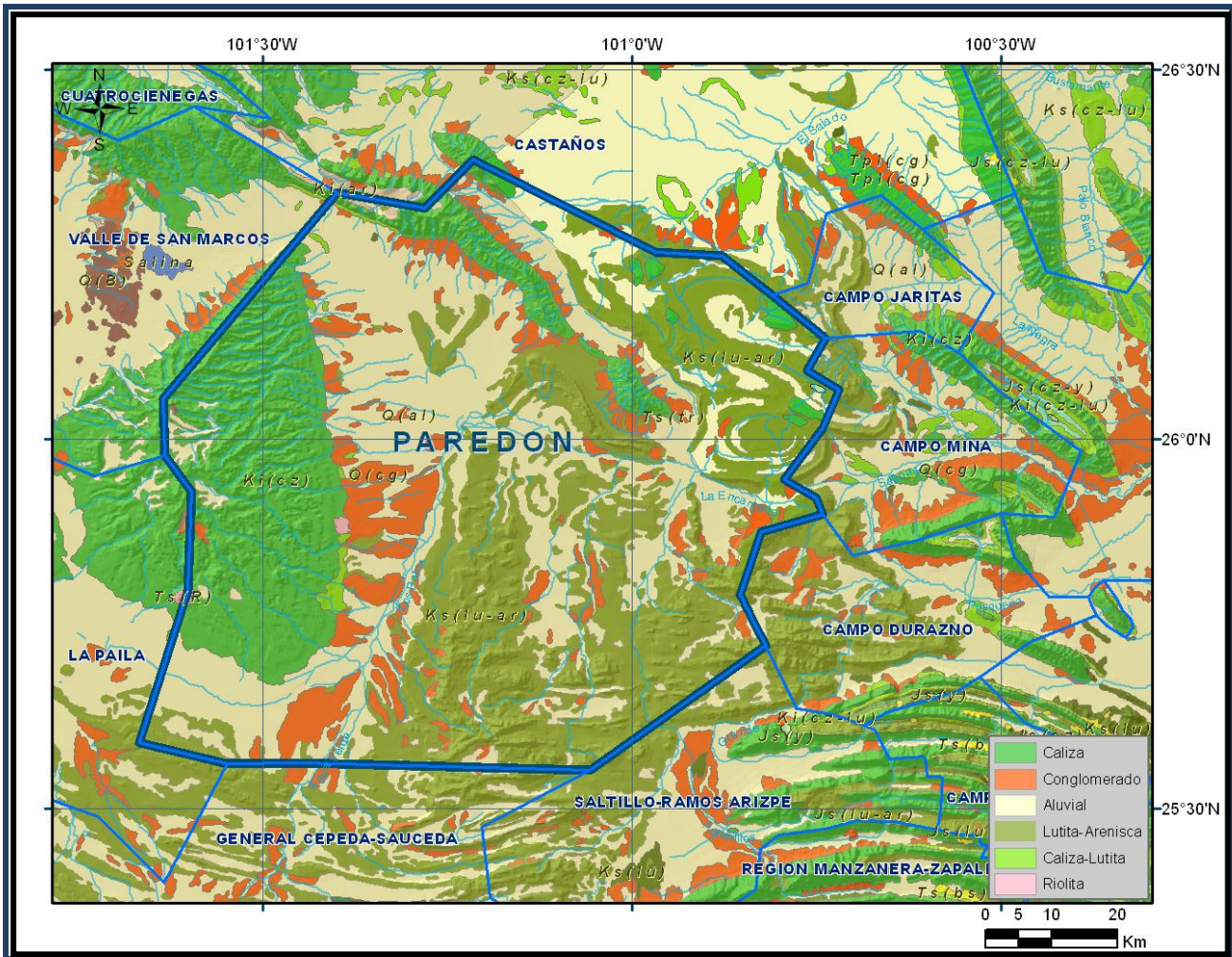


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente.

TRIÁSICO

Las rocas más antiguas que afloran en la Curvatura de Monterrey han sido asignadas al Grupo Huizachal (Tavera-Amezcu, 1960; en: López-Ramos, 1979) del Triásico Tardío (Padilla y Sánchez, 1982). Esta unidad consiste principalmente de lechos rojos, más finos hacia la base y más gruesos hacia la cima, los cuales son depósitos netamente continentales. Estas rocas han sido interpretadas como el resultado de la erosión de horsts (pilares) formados durante el Mesozoico Temprano.

JURÁSICO

Durante el Jurásico Tardío, el noreste de México fue transgredido por aguas marinas, que propiciaron el depósito de gruesas secuencias de rocas terrígenas clásticas, carbonatadas y evaporíticas. En el área de la Curvatura de Monterrey (incluyendo el Valle de Saltillo–Ramos Arizpe) se formaron

extensas plataformas sobre las que se depositaron principalmente carbonatos y evaporitas, que en esta región están representados por la Caliza Zuloaga y la Formación Olvido. La primera aflora en la parte noroccidental de la citada megaestructura y la segunda, en la parte sureste. La Caliza Zuloaga consiste en calizas de grano fino y grano medio con intercalaciones de limolitas rojas hacia su base. Lateralmente cambia de facies a yeso, calizas y limolitas interestratificadas, que constituyen la Formación Olvido. Esta última formación descansa discordantemente sobre el Grupo Huizachal, al suroeste de Galena; pero se ignora si la Caliza Zuloaga yace en forma discordante sobre los lechos rojos o descansa directamente sobre rocas del basamento pre-mesozoico.

Formación La Casita

A finales del Jurásico Tardío ocurrió el depósito de las formaciones La Casita y La Caja, las cuales representan facies litorales y de plataforma, respectivamente. Ambas formaciones sobreyacen concordantemente tanto a la caliza Zuloaga como a la Formación Olvido. La Formación La Casita aflora extensamente en las porciones norte y oriente de la Curvatura de Monterrey y consiste principalmente, de la base a la cima, de conglomerados gruesos con fragmentos redondeados de cuarzo, esquisto y granitos, en una matriz de arenisca de grano grueso; esta litología cambia transicionalmente hacia arriba, a areniscas de grano más fino con intercalaciones de limolitas, para finalizar en su parte más alta, con lutitas y limolitas muy fosilíferas (Rodríguez y Stinnesbeck, 1996). Lateralmente, y aunque no aflora en el área, esta formación cambia a la Formación La Caja, la cual tiene una mayor homogeneidad en su litología; consistente de calizas, lutitas y limolitas intercaladas.

CRETÁCICO

Formación Taraises

La unidad cretácica más antigua es la Formación Taraises, que aflora en toda la Curvatura de Monterrey, donde sobreyace concordante e indistintamente a las formaciones La Caja y La Casita. Esta formación consiste de calizas con intercalaciones de lutitas, pero en el área de Galeana, Díaz-González (1951; en: López-Ramos, 1979 y Padilla y Sánchez, 1985) reportó, en la base de la unidad, la presencia de areniscas pardo-rojizas, denominándola “Miembro Galeana”.

Formación Cupido

Término definido por Imlay (1937) en Humphrey (1956) para una unidad de calizas de color gris y estratificación gruesa, delgada y media, que se presenta en la porción media de la Sierra de Parras. Sobreyace concordantemente a la formación anterior y está constituida principalmente por tres facies diferentes: 1) Facies arrecifales con abundantes monopléuridos, requiénidos, caprínidos, ostras y fragmentos de corales y codiáceas, que afloran preferentemente en la parte norte de la Curvatura de Monterrey; 2) Facies de pre-arrecife, constituidas por brechas derivadas de los arrecifes, que bordean las facies arrecifales en la parte norte y noroccidental de la citada megaestructura, y 3) Facies de cuenca, representadas por calizas de grano fino de estratificación media a gruesa, con abundantes nódulos de pedernal, que aflora en la parte sur de la megaestructura. El espesor de la facies pre-arrecifales es mayor en las facies arrecifales y menor en las facies de cuenca.

La Formación Cupido aflora al norte de la zona, en los potreros La Virgen y San Marcos, así como en la parte alta de la Sierra de San Marcos. El contacto superior con la Formación La Peña es brusco y concordante. Su edad es asignada al Hauteriviano. Presenta numerosos miliólidos.

Formación La Peña

Sobreyace concordantemente a la Formación Cupido y está constituida por calizas de grano medio en estratos delgados, con intercalaciones de lutitas y limolitas muy fosilíferas. La parte carbonatada presenta abundantes lentes y nódulos de pedernal negro.

El nombre de Formación La Peña, fue inicialmente definido por R. W. Imlay (1936) para distinguir dos cuerpos con dos miembros. El miembro inferior compuesto por calizas y el superior por calizas y lutitas. Su localidad tipo se encuentra en el flanco norte de la Sierra de Taraises, aproximadamente a 4.8 km. al este y sureste de la Hacienda La Peña, en el extremo sur del Estado de Coahuila. Aflora al norte en la Sierra San Marcos. Sus contactos inferior con la Formación Cupido y superior con la Formación Aurora son bruscos y concordantes.

Formación Cuesta del Cura/ Tamaulipas Superior

A la Formación La Peña la sobreyacen, también concordantemente, la Caliza Cuesta del Cura y la Caliza Tamaulipas Superior; ésta última es su equivalente lateral. La Caliza Tamaulipas Superior aflora principalmente en el este y sureste de la Curvatura de Monterrey, donde está constituida, de la base a la cima, por estratos medianos a gruesos de calizas de grano fino de color gris, con delgadas intercalaciones de lutitas calcáreas y abundantes estilolitos paralelos a la estratificación. Hacia la cima, estas rocas cambian gradualmente a estratos medianos a delgados y ondulados de calizas de textura fina con abundantes nódulos, capas de pedernal negro y concreciones de pirita. Hacia el oeste y noroeste (Valle de Saltillo-Ramos Arizpe), esta formación cambia lateralmente a la Caliza Cuesta del Cura, la cual consiste de estratos delgados, ondulados de calizas de grano fino, con abundantes capas y nódulos de pedernal negro.

Formación Indidura

La unidad que sobreyace concordantemente a la caliza Cuesta del Cura es la Formación Indidura, mientras que por lo general la Caliza Tamaulipas Superior subyace, también en forma concordante, a la Formación Agua Nueva. Consiste de estratos delgados de caliza de grano medio de color gris claro y lutitas rosadas muy fosilíferas, mientras que la Formación Agua Nueva está conformada por calizas de textura media de color gris a negro, en estratos delgados, con un contenido moderado a abundante de nódulos de pedernal negro y con intercalaciones laminares de lutitas negras, ocasionalmente carbonatadas.

Formación Caracol

La Formación Caracol sobreyace concordantemente a la Formación Indidura en el oeste (Valle de Saltillo – Ramos Arizpe), en tanto que la Formación San Felipe sobreyace de la misma manera a la Formación Agua Nueva en el este y sureste de la Curvatura de Monterrey. La Formación Caracol

consiste de una secuencia rítmica de estratos delgados de areniscas de grano fino, en ocasiones algo calcáreas y limolitas interestratificadas, que predominando hacia la cima de la formación, se vuelven más arcillosas. Por otro lado, la Formación San Felipe está constituida por estratos delgados, con abundantes laminaciones, de calizas de grano medio intercaladas con limolitas, lutitas y bentonita.

En el Valle de Saltillo – Ramos Arizpe, noroeste de la Curvatura de Monterrey, la Lutita Parras sobreyace a la Formación Caracol a través de un contacto concordante y transicional, mientras que en el sur y sureste de la megaestructura, la Lutita Méndez sobreyace de la misma manera a la Formación San Felipe. La litología de la Lutita Parras y de la Lutita Méndez es muy similar, la única diferencia entre ellas es que, hacia el oeste y noroeste, la Lutita Parras contiene más terrígenos (algunos horizontes de arenas finas) y hacia el este–sureste, la Lutita Méndez presenta un mayor contenido de carbonatos. La Lutita Parras es lateralmente equivalente a la Lutita Méndez (Padilla y Sánchez, 1978) y en el área de la Cuenca de Parras, subprovincia geológica ubicada al oeste de Saltillo, subyace concordantemente al Grupo Difunta, el cual está conformado por estratos gruesos de areniscas de grano fino, lechos rojos, areniscas conglomeráticas y lutitas con algunos lentes carbonatados que han sido interpretados por McBride *et al.* (1974) como resultado de un ambiente deltaico.

La secuencia mesozoica formada por las rocas antes descritas fue plegada y deformada durante el Paleoceno Tardío–Eoceno Temprano; como resultado de este evento tectónico se depositó la Formación Ahuichila. Esta unidad aflora de manera aislada en algunas localidades y su litología consiste principalmente de conglomerados dispuestos en estratos gruesos a masivos, con fragmentos de rocas jurásicas y cretácicas, en una matriz areno-conglomerática.

Formación Aurora

La Formación Aurora tiene una amplia distribución geográfica en la porción occidental de la zona. Está formada por capas gruesas a masivas de calizas densas, de color gris a gris pardo al intemperismo y gris claro a oscuro en muestras frescas. Presenta nódulos y bandas de pedernal de color gris claro y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación. Esta unidad presenta contacto brusco y concordante con la Formación Kiamichi (arriba) y la Formación La Peña (abajo). Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica se le asigna edad Albiano Inferior y Medio.

Lutita Parras

La Lutita Parras sobreyace concordantemente a la Formación Indidura, con espesores que van de 400 m en la zona de La Popa hasta 1500 m en la parte central de la cuenca de Parras. La parte inferior de esta unidad consiste de lutitas de color gris a negro, físisles a subfísisles, que se tornan cafés en la porción superior al aumentar el contenido de limo (Lawton et al, 2001). Estos depósitos se interpretan como turbiditas, que representan depósitos de prodelta de un límite clástico de progradación.

Grupo Difunta

El nombre de Formación Difunta fue aplicado por vez primera por Ralph W. Imlay (1936) para referirse a una sección ubicada al norte del extremo poniente de la Sierra de Parras. Datos de las paleocorrientes del Grupo Difunta indican que esta progradación tenía una dirección hacia el Este en la Cuenca de Parras y hacia el Sureste en la Cuenca de La Popa (McBride *et al*, 1975).

El Grupo Difunta se subdivide en siete formaciones en la porción occidental y oriental de la Cuenca de Parras. Las formaciones Cerro Huerta, Las Imágenes y Las Encinas consisten principalmente de depósitos de planicie de delta y lechos rojos de los flancos de la planicie costera, los cuales se extienden lateralmente a lo largo de la cuenca y cambian a facies de unidades marinas en la porción este de la Cuenca de Parras y La Popa.

Las formaciones Cerro del Pueblo, Cañón del Tule, Cerro Grande y Rancho Nuevo están conformadas principalmente por calizas tipo “mudstone” y areniscas de ambiente marino somero.

En la zona de La Popa, el Grupo Difunta se divide en cinco formaciones, en orden ascendente: El Muerto, Potrerillos, Adjuntas, Viento y Carroza. Estas unidades comprenden principalmente estratos depositados en ambientes marinos someros, de grano fino, e intervalos de depósitos de areniscas de grano grueso y conglomerados marinos y no marinos que probablemente fueron derivados en la porción occidental en la Sierra Madre Oriental (McBride *et al*, 1975).

CENOZOICO

Aluvión

En la zona, los depósitos aluviales son escasos y se localizan en pequeñas regiones de las porciones intermontanas, en las porciones sur y central del acuífero, como por ejemplo en la zona conocida como Fraustro. Los espesores máximos son del orden de los 100 m.

4.2. Geología estructural

En la región afloran rocas cuya edad corresponde al periodo que va del Jurásico al Cretácico, con pequeños afloramientos de rocas cenozoicas y depósitos de relleno aluvial. Después de una sedimentación triásica en fosas tectónicas, esta región fue sumergida a medida que el Atlántico se abrió para constituir el Geosinclinal Mexicano. La deformación de las rocas que se localizaban hacia la porción occidental, proporcionó la fuente de sedimentos característicos de los depósitos Jurásicos en la porción oriental de México. Para el Cretácico Medio, las aguas marinas inundaron la mayor parte de México, depositándose carbonatos y evaporitas. Posteriormente, en el Cretácico Superior se depositó una secuencia de lutitas y areniscas (flysch), que en algunas zonas se prolongó hasta el Eoceno. La Orogenia Laramide en su última fase (Eoceno) produjo los pliegues y fallas que se observan en la región.

4.3. Geología del subsuelo

El acuífero se encuentra alojado en los sedimentos aluviales y en la secuencia de areniscas y lutitas fracturadas, alcanzando un espesor conjunto del orden de los 250 m, según la información disponible. El basamento y las barreras al flujo subterráneo están integrados por las lutitas de la formación Parras y las unidades arcillosas del Grupo Difunta. La profundidad al basamento hidrogeológico del acuífero se desconoce; los pozos más profundos perforados a 250 m cortaron areniscas fracturadas a esa profundidad. El Grupo Difunta tiene un espesor de 600 m en la zona en el contacto con las lutitas y calizas arcillosas de la Formación Eagle Ford y/o con las lutitas de la Formación Parras, que subyacen al Grupo Difunta. Sin embargo, también es posible que el fracturamiento a profundidad se reduzca y de esta forma el basamento podría estar a menor profundidad dentro del mismo Grupo Difunta.

Las fronteras laterales de carácter impermeable están constituidas por el contacto entre el Grupo Difunta con las formaciones de baja permeabilidad Eagle Ford y Parras, al norte en el flanco de las Sierras La Gavia y La Chata; al poniente en el flanco de la Sierra La Paila.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Con base en la información geológica y geofísica consultada de los estudios previos, así como en la información recopilada de pozos se define que el acuífero Paredón es **libre**, localizado en las partes bajas de los valles, en el que el agua que circula por un medio poroso conformado por los materiales aluviales que pueden alcanzar un espesor de 50 m, el espesor saturado en esta unidad es muy pequeño y en ocasiones se encuentra totalmente drenado.

Debajo de estos depósitos y hacia las estribaciones de las sierras el acuífero está constituido por las rocas sedimentarias del Grupo Difunta, específicamente por las capas de areniscas fracturadas que se intercalan con las lutitas. Se trata de un acuífero en medio fracturado en el que las capas de lutitas intercaladas funcionan como semiconfinantes de las capas de arenisca, cuando carecen de permeabilidad secundaria, o bien pueden formar parte del acuífero cuando se encuentran fracturadas.

5.2. Parámetros hidráulicos

En 2006 se ejecutaron 10 pruebas de bombeo estas se realizaron tanto en etapa de abatimiento como de recuperación; los tiempos variaron entre 2 y 6 horas, para la etapa de abatimiento y entre 1 y 2 horas para la recuperación. De la interpretación de dichas pruebas se obtuvieron valores de conductividad hidráulica que varían entre 9.4×10^{-7} y 1.2×10^{-3} m/s para los materiales probados, que conforme a la literatura especializada (Freeze & Cherry, 1979), corresponden a limos, loess y arena limosa.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró la información disponible para el periodo 1978–1998 y 2006.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

Para 2006 los niveles piezométricos varían entre 20 y 80 m para la mayor parte del acuífero, los valores más bajos se presentan en las zonas cercanas a las corrientes de agua y se van incrementado hacia las zonas topográficamente más elevadas (figura 3).

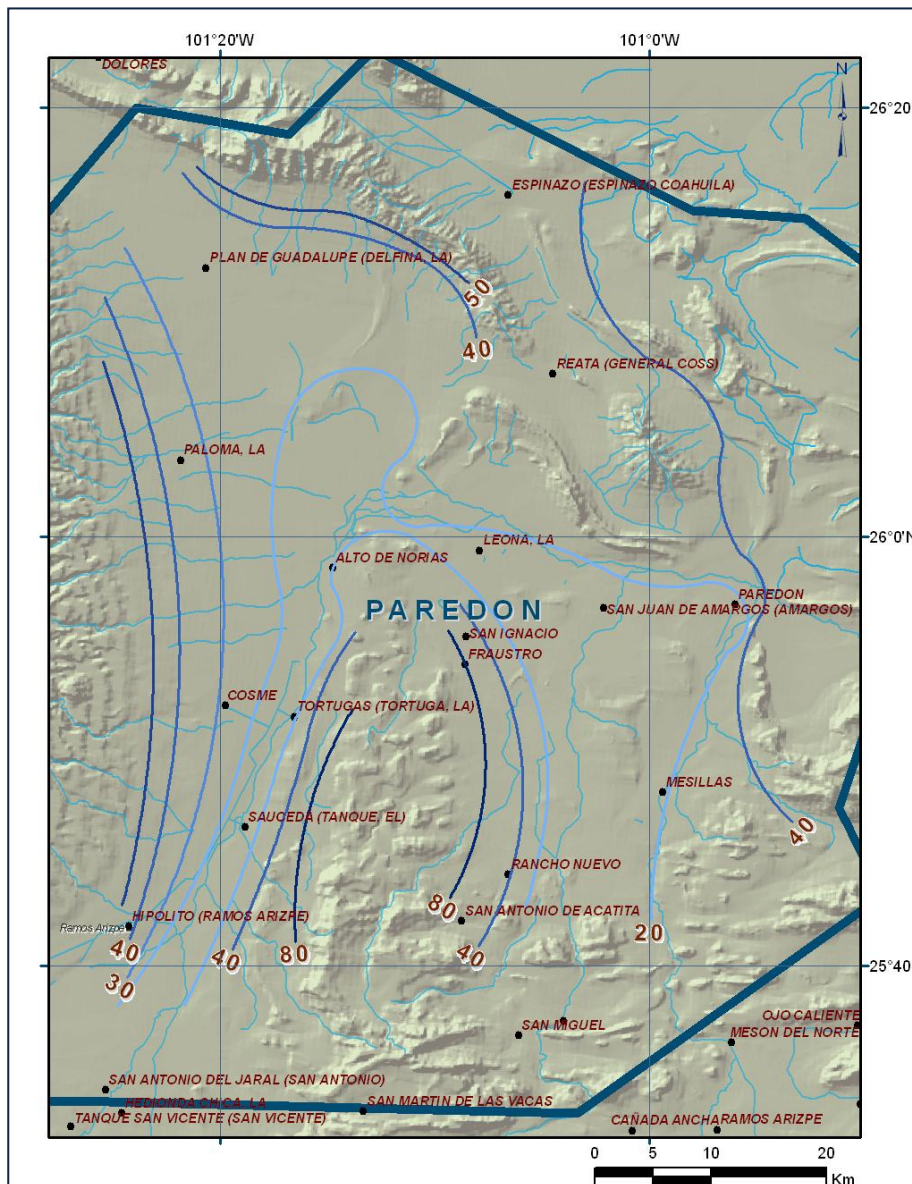


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2006

Los niveles más profundos se presentan en áreas topográficamente más altas y los más someros en áreas más bajas. Las zonas de niveles profundos se asocian a las áreas de recarga natural por la infiltración de la lluvia y los escurrimientos en los pie de monte, localizados en la Sierra El Potrero y demás sierras ubicadas hacia el sur.

5.4.2. Elevación del nivel estático

Las cargas hidráulicas del acuífero en el 2006 oscilan entre los 750 y 1200 msnm, con los valores más bajos registrados hacia las estribaciones de las sierras circundantes y los bajos hacia la porción oriental del acuífero (figura 4).

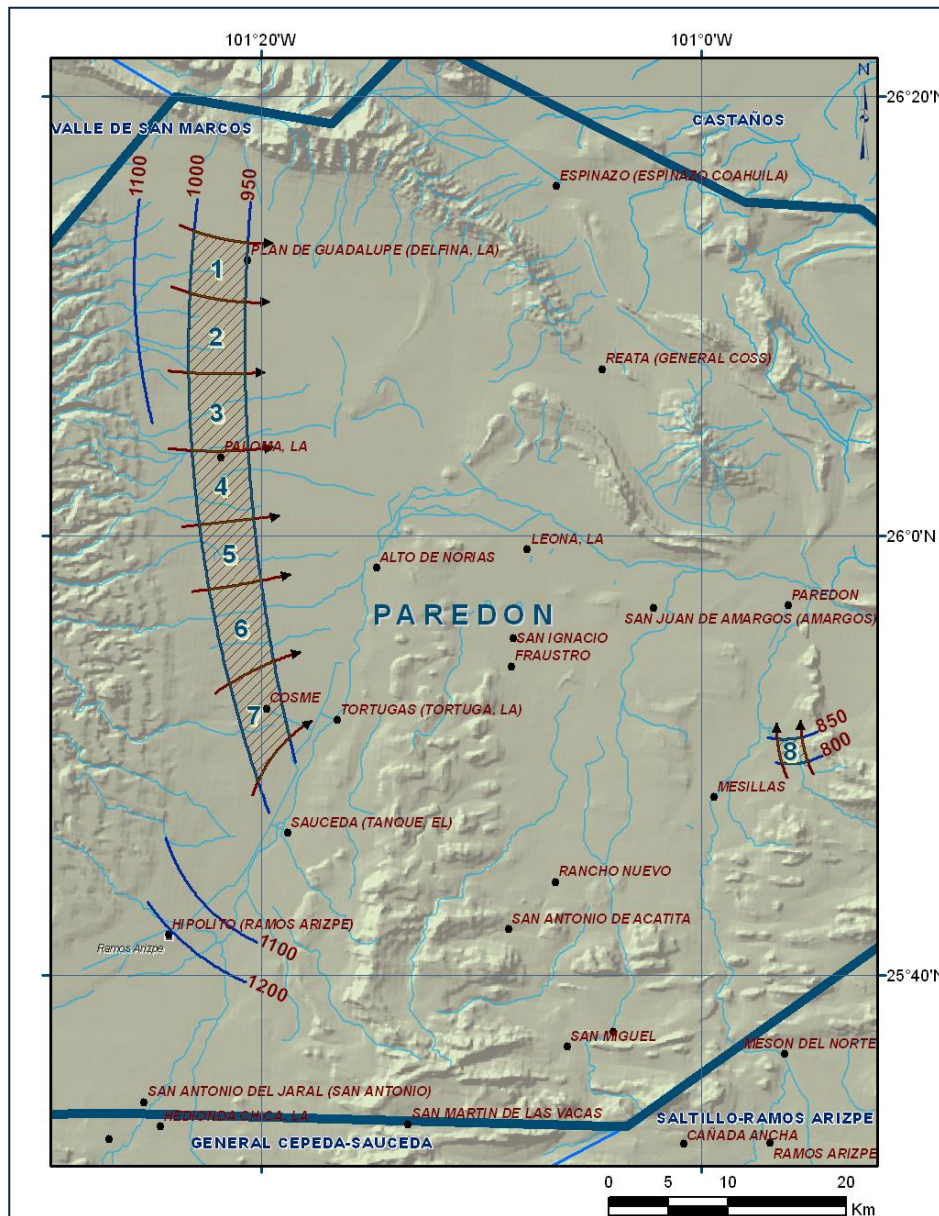


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2006

Las configuraciones de la elevación del nivel estático revelan que las zonas de recarga al acuífero se localizan en la Sierra El Potrero y sierras del sur, otra fuente de recarga se identifica en la margen noroeste del valle, desde Hipólito hasta Plan de Guadalupe, y está relacionada con la infiltración de los arroyos que descienden de la Sierra La Paila, a través de los depósitos aluviales permeables. Resalta la existencia de dos componentes principales de flujo, una con dirección de Sur a Norte y otra de oeste a este, que confluyen hacia el Arroyo Patos para continuar en dirección hacia el oriente a lo largo del Valle San Juan de Amargos-Paredón.

5.4.3. Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático en el periodo comprendido entre octubre de 1998 a 2006 registra valores de abatimiento que fluctúan entre -0.15 y -6.21 m (figura 5).

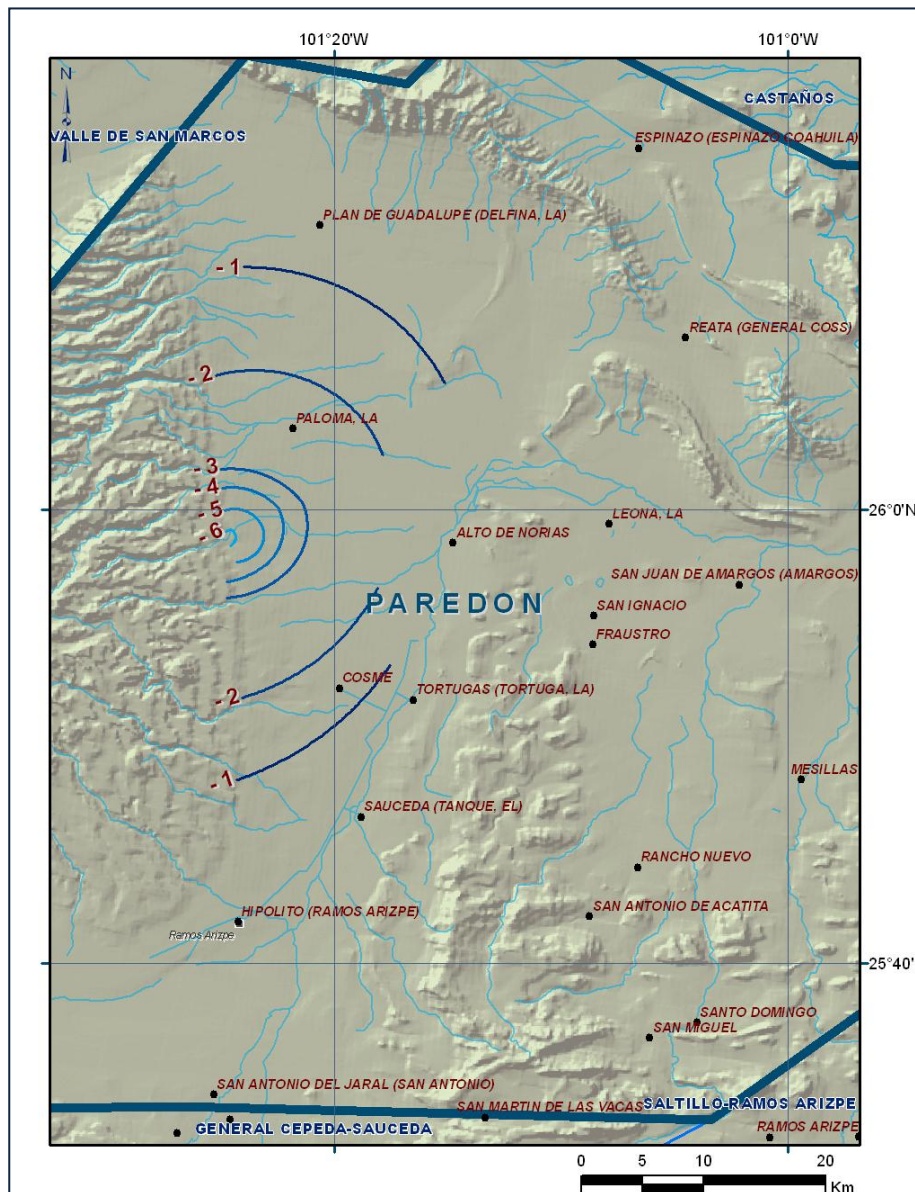


Figura 5. Evolución del nivel estático (m), 1998-2006

De acuerdo con la información disponible, los mayores abatimientos se presentan en el ejido Plan de Guadalupe, La Leona, Gasolinera Santa Cruz, La Gamuza, Aguajillas de Abajo y Rancho Zacatecas, entre otros. Los valores más bajos se presentan en el área de Santa Cruz (El Alto), San Pablo, Mesillas y El Higo. La tasa de abatimiento medio anual registrado para este periodo es de 0.50 m/año.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En 2006 se recolectaron 14 muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímicos; 11 de ellas corresponden a pozos, 1 noria y 2 manantiales. Las determinaciones incluyeron sólidos disueltos totales (STD), alcalinidad total, dureza total, sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, conductividad eléctrica y potencial Redox.

Con esta información y la obtenida de los análisis realizados en 1981, se puede determinar que las familias del agua que predominan son la Sulfatada-Cálcica y Sulfatada-Sódica; en menor proporción se presenta la familia Bicarbonatada-Cálcica. Las primeras reflejan el proceso de disolución de yesos y/o oxidación de pirita, reportadas en las rocas sedimentarias del Grupo Difunta y en el Valle San Juan de Amargos-Paredón, consistente con el área de confluencia de las componentes de flujo que provienen de las porciones sur y noroeste. La presencia de sodio en las aguas subterráneas posiblemente se relaciona con procesos de intercambio iónico que se produce en las arcillas que componen las lutitas del Grupo Difunta. Por su parte, la familia Bicarbonatada-Cálcica se localiza hacia las zonas de recarga al acuífero, ubicadas hacia las sierras que bordean el valle.

Las concentraciones de STD, Cl, SO₄ y Dureza Total se presentan sobre el límite respectivo de la NOM-127-SSA1-1994 en casi todos los aprovechamientos. La concentración de nitratos sobrepasa el límite de la norma de 10 mg/l en todos los aprovechamientos monitoreados.

Las concentraciones de STD en el acuífero varían entre 260 mg/l y 3900 mg/l, mostrando generalmente un incremento en la dirección de flujo subterráneo. Los contenidos de sulfatos y cloruros tienen una variación similar a los STD, es decir las concentraciones más bajas se presentan hacia las zonas de recarga natural localizadas hacia la Sierra El Potrero y sierras del sur y las más salinas hacia el Valle de San Juan de Amargos-Paredón en donde las concentraciones son mayores debido a un mayor tiempo de residencia.

Por lo anterior, se puede establecer que la calidad de agua para uso potable está limitada por las altas concentraciones de STD y sulfatos, que en gran parte del acuífero rebasan los límites permisibles oficiales que marca la normatividad, de 1000 mg/l y 400 mg/l respectivamente. Lo mismo los contenidos de cloruros que también se encuentran por arriba del límite oficial permisible de 250 mg/l, excepto hacia el flanco sureste de la Sierra El Potrero y hacia las sierras del sur.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2006, se identificaron un total de 483 aprovechamientos; de los cuales 424 son pozos, 42 norias y 17 manantiales. En 244 aprovechamientos se midió la profundidad al nivel estático, en el resto no se pudo sondear debido a que el agujero se encontraba sellado, el dispositivo para introducir la sonda estaba obstruido, tenía abejas y/o presentaban mucho aceite.

Del total de aprovechamientos censados 355 se encuentran activos y los 128 restantes fuera de operación. De los activos, 198 (55.8%) se destinan al uso agrícola, 24 (6.8%) al abastecimiento de agua potable para la población, 85 (23.9%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero, y los 48 restantes (13.5%) para otros usos. El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **21.1 hm³ anuales**, de los cuales 19.5 hm³ (92.4%) se destinan al uso agrícola, 0.8 (3.8%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero, 0.3 hm³ más (1.4%) para abastecimiento de agua potable a los centros de población, 0.1 (0.5%) para uso en servicios y los 0.4 hm³ restantes (1.9%) para otros usos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 por el almacenamiento del acuífero. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de masa}$$

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 por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

El balance de aguas subterráneas se definió para el periodo de 1978 – 1998 y 2006, en una superficie de **400 km²**, que corresponde a la zona donde se localizan gran parte de los aprovechamientos de agua subterránea

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga vertical considerándola como incógnita de la ecuación de balance. De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$Eh + Rv + Rr - B - Sh - Dm - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Dónde:

Rv: Recarga vertical;

Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal;

Rr: Retornos de riego;

B: Bombeo;

Dm: Descarga por manantiales;

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal;

ETR: Evapotranspiración;

$\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento;

7.1. Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que es esta región no existen centros de población importantes, que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga vertical (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri) como recarga por retorno de riego (Rr).

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance (1). De esta manera se tiene:

$$Rv = Sh + B + Dm + ETR - \Delta V(S) - Eh - Rr \quad (2)$$

7.1.2. Retornos de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

El volumen estimado de los excedentes de riego asciende a **9.6 hm³ anuales**, de los cuales 6.7 hm³ corresponden provienen del riego con aguas superficiales y los 2.9 hm³ restantes del riego con agua subterránea.

7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 1999 (figura 4), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

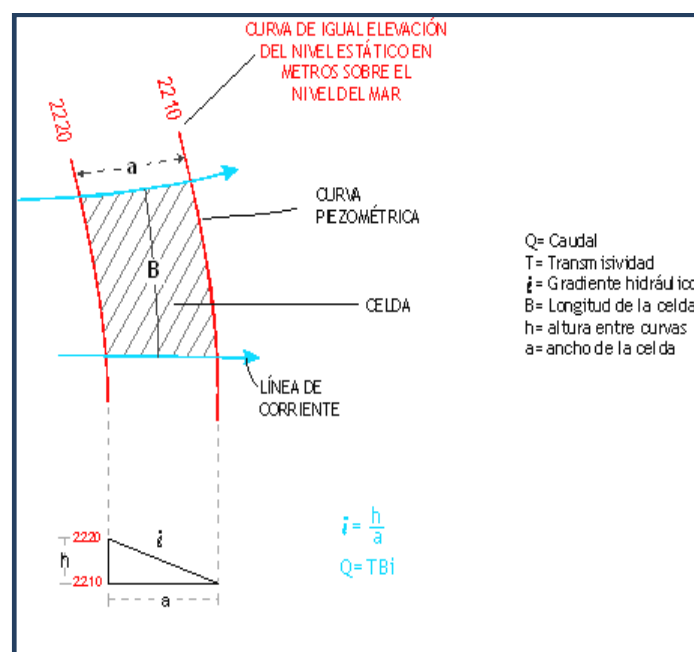
Dónde:

Q = Gasto [m³/s];

T = Transmisividad [m² /s];

B = Longitud de la celda [m];

i = Gradiente hidráulico;



El valor estimado de las entradas por flujo subterráneo es de **4.2 hm³/año**.

Tabla 2. Entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	K (m/día)	B (m)	A (m)	Δh	ΔL	Gradiente (i)	Caudal (m ³ /año)
1	0.391	5000	50	50	1950	0.026	914840
2	0.3	5000	50	50	2200	0.023	622159
3	0.3	5000	50	50	2000	0.025	684375
4	0.3	5000	50	50	2450	0.02	558673
5	0.3	5000	50	50	2900	0.017	471983
6	0.3	5000	50	50	3150	0.016	434524
7	0.3	5000	50	50	2900	0.017	471983
8	0.08	2000	50	50	2900	0.017	47198
							4 205,735

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y descarga a través de manantiales (Dm). Respecto a la evapotranspiración (ETR), de acuerdo con la configuración de la profundidad al nivel estático (figura 4), las áreas de niveles freáticos someros son reducidas, debido a que se localizan en regiones topográficamente más altas que el valle, posiblemente representen niveles de acuíferos colgados que no tienen conexión hidráulica con el acuífero regional. Para fines del balance de aguas subterráneas, se considera que no existe evapotranspiración. **ETR = 0.**

En lo que se refiere a las salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), como se muestra en la configuración de elevación del nivel estático (figura 5), el incremento del bombeo ha interceptado las salidas subterráneas que existían anteriormente, hacia el acuífero vecino Campo Mina, en el estado de Nuevo León, por lo que actualmente las salidas subterráneas se consideran nulas. **Sh = 0.**

7.2.1. Bombeo (B)

Como se mencionó en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción calculado es de **21.1 hm³ anuales.**

7.2.2. Descarga por manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en el 2006, existen 17 pequeños manantiales dentro de la zona. El volumen de descarga estimado asciende a **1.1 hm³/año.**

7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Para la determinación de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero registrada en el intervalo de tiempo que comprende de 1998 a 2006. Este periodo es el que muestra mayor cobertura espacial y confiabilidad en las mediciones. Con base en la configuración de curvas de igual

evolución del nivel estático, y considerando un coeficiente de almacenamiento $S=0.008$, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

$\Delta V(S)$: Cambio de almacenamiento;

S: Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

A: Área entre curvas de igual evolución del nivel estático;

h: Valor medio de la variación piezométrica en el período;

Tabla 3. Cálculo del cambio de almacenamiento (1998-2006)

Evolución (m)	Abatimiento (m)	Area (km ²)	S	$\Delta V(S)$ (hm ³ /a)
-1 a -2	-1.5	160	0.008	-1.9
-2 a -3	-2.5	110	0.008	-2.2
-3 a -4	-3.5	80	0.008	-2.2
-4 a -5	-4.5	40	0.008	-1.4
-5 a -6	-5.5	10	0.008	-0.4
	Area balance	400	Total	-7.8
			promedio anual	-1.0

El valor del cambio de almacenamiento estimado es de -7.8 Hm^3 para el periodo analizado, por lo que su valor promedio anual es de -1.0 hm^3 .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia, mediante la expresión (2):

$$R_v = S_h + B + D_m + ETR - \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

$$R_v = 0 + 21.1 + 1.1 + 0 - 1.0 - 4.2 - 9.6$$

$$R_v = 7.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera la recarga total media anual (R_t) es igual a la suma de todas las entradas:

$$R_t = R_v + E_h + R_r$$

$$R_t = 7.4 + 4.2 + 9.6$$

$$R_t = 21.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$DAS = Rt - DNCOM - VCAS \quad (3)$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica

Rt = Recarga total media anual

DNCOM = Descarga natural comprometida

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **21.2 hm³**.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

La descarga natural comprometida corresponde a los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y asciende a **1.1 hm³/año**.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **30 de septiembre de 2008** es de **23'926,235 m³ anuales**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} & (3) \\ \text{DAS} &= 21.2 - 1.1 - 23.926235 \\ \text{DAS} &= - 3.826235 \end{aligned}$$

La cifra indica que no existen volúmenes disponibles para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el **déficit** es **de 3'826,235 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero Paredón, estado de Coahuila.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero y, por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que el valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se explotan o las almacenadas en las rocas calcáreas que subyacen a los depósitos aluviales y a las rocas sedimentarias fracturadas del Grupo Difunta. Conforme se genere mayor información, en cantidad y calidad, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1999. Cuantificación de la disponibilidad de agua subterránea en el acuífero de Paredón, Coahuila.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Elaboración del Documento de Respaldo de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea en el Acuífero Paredón, estado de Coahuila. Realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1981. Estudio Geohidrológico Preliminar en la Zona de Paredón, Coahuila, Elaborado por la compañía ININSA, S.A.