



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PAREDÓN (0508), ESTADO DE
COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	8
3.3 Hidrografía	9
3.4 Geomorfología.....	10
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1 Estratigrafía	13
4.2 Geología estructural.....	22
4.3 Geología del subsuelo.....	24
5. HIDROGEOLOGÍA	25
5.1 Tipo de acuífero	25
5.2 Parámetros hidráulicos.....	26
5.3 Piezometría	26
5.4 Comportamiento hidráulico.....	27
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	27
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	28
5.4.3 Evolución del nivel estático	29
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	30
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	31
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	32
7.1 Entradas.....	32
7.1.1 Recarga vertical (Rv)	32
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	33
7.1.3 Recarga incidental por retornos de riego (Rr).....	34
7.2 Salidas.....	35
7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	35
7.2.2 Bombeo (B).....	35
7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)	35
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	36
8. DISPONIBILIDAD.....	37
8.1. Recarga total media anual (R).....	37
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	37
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	38
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	38
9. BIBLIOGRAFÍA.....	39

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-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y 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 de extracción de aguas subterráneas.

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 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 33' y 26° 23' de latitud norte y los meridianos 100° 43' y 101° 40' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 6,291 km². Limita al norte con el acuífero Castaños, del estado de Coahuila, al noreste con los acuíferos Campo Jaritas y Campo Mina; al este con Campo Durazno, estos tres pertenecientes al estado de Nuevo León; al sureste con Saltillo-Ramos Arizpe; al sur con General Cepeda-Sauceda; al oeste con La Paila y al noroeste con el acuífero Valle de San Marcos, todos ellos del estado de Coahuila (figura 1).

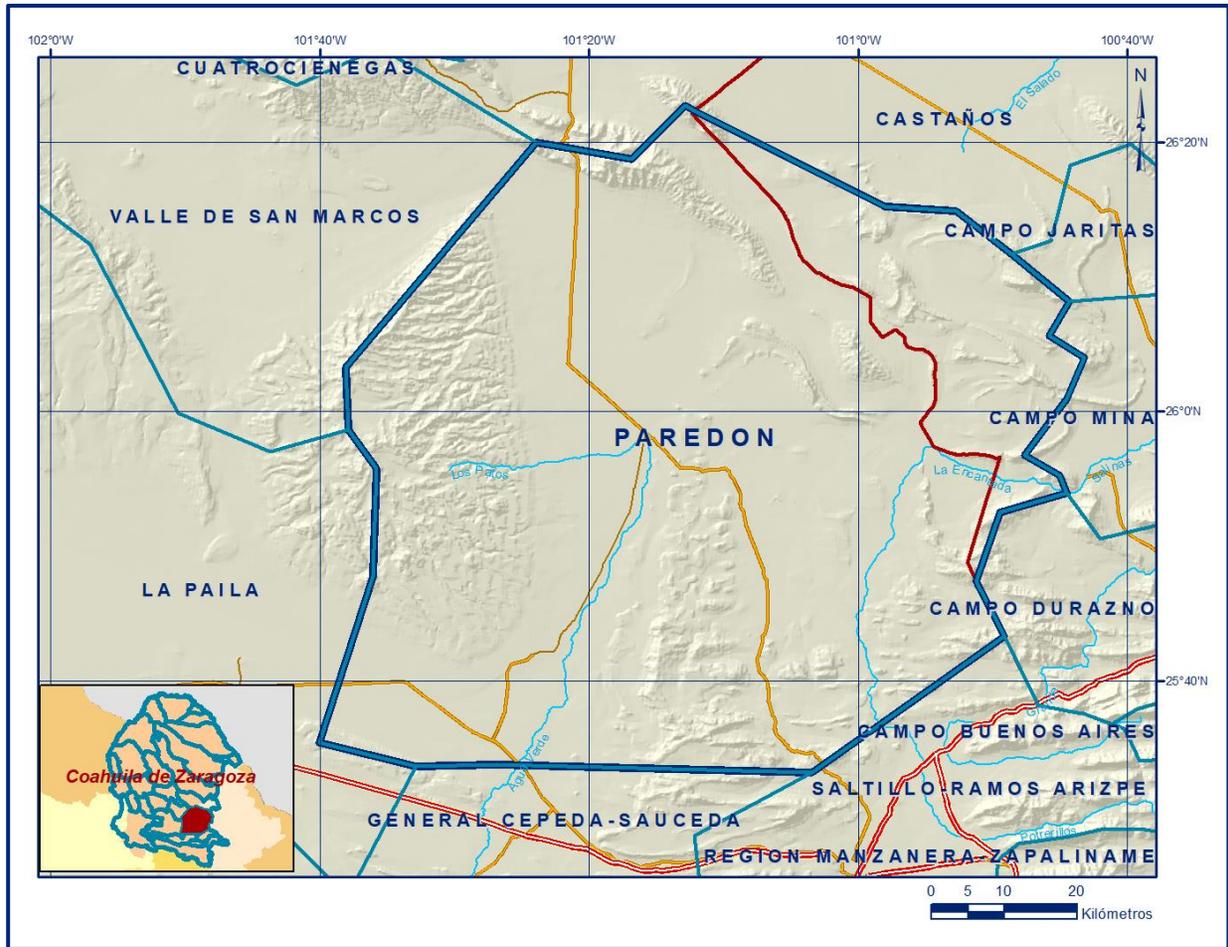


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el territorio que cubre el acuífero está ubicado en su mayor parte en el municipio de Ramos Arizpe, parcialmente en el municipio General Cepeda y en una pequeña porción del municipio de Castaños. Su extremo nororiental se localiza parcialmente en el municipio de Mina, estado de Nuevo León.

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

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	10	
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	11	
1	101	16	48.5	26	18	45.0	

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Paredón pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo”, al Consejo de Cuenca Río Bravo, instalado el 21 de enero de 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. En su territorio completo no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “*ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 7 acuíferos que se indican*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará

conforme a la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. En su territorio no existe Distrito o Unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR EN LA ZONA DE PAREDÓN, COAHUILA.

Realizado en 1981 por Ingeniería Integral, S.A. de C.V. ININSA, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 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. Actualiza el censo de aprovechamientos de agua subterránea realizado en 1977 por la SARH, ubicando un total de 533, de los cuales 294 eran pozos, 190 norias, 48 manantiales y un tajo; la mayoría de ellos destinados al uso agrícola. Se tomaron muestras de agua de 51 aprovechamientos para determinar la calidad del agua subterránea. El análisis de las condiciones geohidrológicas indicaba que el acuífero no se encontraba sobreexplotado.

CUANTIFICACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE PAREDÓN, COAHUILA. Realizado en 1999 por la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Coahuila, Departamento de Aguas Subterráneas.

Los objetivos del estudio fueron definir de manera general la geometría del acuífero, cuantificar los volúmenes de extracción y de la recarga media anual que recibe el acuífero, identificar áreas con agua de buena calidad para el emplazamiento de nuevas captaciones y recomendar un régimen de explotación racional.

Entre sus actividades de campo destacan el censo de captaciones de agua subterránea, realización de pruebas de bombeo, muestreo de agua, aforo de manantiales, nivelación topográfica de brocales y sondeos geofísicos, así como 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. Realizado en 2006 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Nacional del Agua. 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.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO PAREDÓN (0508), EN EL ESTADO DE COAHUILA. Realizado en 2014 por SANX, INGENIERÍA INTEGRAL Y DESARROLLO S.A de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. El estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, recabar información para calcular su recarga media anual y determinar su disponibilidad.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos, reinterpretación de sondeos eléctricos verticales y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en su totalidad en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, representada por una franja alargada y orientada en sentido noroeste-sureste, desde Chihuahua-Coahuila hasta el Istmo de Tehuantepec, que presenta una flexión con orientación este-oeste entre Torreón y Monterrey-

Está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) 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 a sus centros.

Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, la mayor parte del acuífero se localiza en las subprovincias Pliegues Saltillo-Parras y Sierra La Paila; su extremo noroccidental se ubica en la Subprovincia Sierras y Valles Coahuilenses. La porción suroccidental del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Laguna de Mayrán.

La Subprovincia Pliegues Saltillo-Parras presenta un conjunto de sistemas de topofomas que varían desde las llanuras, valles extendidos, lomeríos suaves, abruptos y pequeñas sierras que están orientadas en dirección este-oeste. Por estar enclavada en una zona árida, su paisaje es típico del desierto, aunque es fácil observar en las cumbres topográficas bosques de pinos y encinos. Dentro de ella se asienta la Ciudad de Saltillo y las localidades importantes de esta región del estado de Coahuila. Se trata de un conjunto de valles orientados de este a oeste y limitados al norte y al sur por flancos residuales de anticlinales erosionados, incluye además la Sierra de Parras con elevaciones que sobrepasan los 3,000 msnm, que es una sucesión de flancos truncados de un gran anticlinal plegado hacia el sur.

La Subprovincia Sierra La Paila, consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, con bajadas. En su porción occidental está localizado el bolsón conocido como Valle Buenavista, limitado al oeste por la sierra de Tlahualilo y al este con las elevaciones llamadas de Albardienta, que alcanzan 1,800 msnm. En el oriente se presenta la sierra La Paila de estructura cómica y flancos suaves, excepto en el noroeste, donde es afectado por un fallamiento. Los bolsones con elevaciones a menos de 1000 msnm, llamados valles El Sobaco, El Hundido, San Marcos y Los Pinos, se localizan al norte de la subprovincia. En esta subprovincia predominan las rocas calizas en todas las sierras limítrofes, excepto en el valle de San Marcos y Los Pinos, en los que dominan las rocas volcánicas basálticas.

La Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, con topoformas de sierras y valles, está constituida por pequeñas sierras de caliza plegadas, la mayoría orientadas de noroeste a sureste, escarpadas. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con los núcleos erosionados, que presentan altitudes de 1,000 a 2,000 msnm.

Entre estas sierras, constituidas por calizas y en menor proporción por lutitas y yesos, se extienden llanuras aluviales. La Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte está constituida por sierras bajas y abruptas con elevaciones entre 1,590 a 1,950 msnm con orientación nor noroeste-sur sureste separadas por grandes bajadas y llanuras rellenas de material aluvial, que presentan drenaje interno. La zona donde se localiza el acuífero muestra un estado de erosión avanzado con grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres, también llamados bolsones. La porción coahuilense de la Subprovincia Laguna de Mayrán está constituida básicamente por llanuras, aunque se encuentran también algunos lomeríos. Estos sistemas de topoformas abarcan 7,804 km² del área estatal y comprende parte de los municipios de Francisco I. Madero, General Cepeda, Parras, San Pedro y Viesca. La Laguna de Mayrán es una laguna ubicada en el municipio de San Pedro de Las Colonias, Coahuila; en la región en la que desemboca el Río Nazas, que se origina en la Sierra Madre Occidental del estado de Durango.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, adaptada por Enriqueta García a las condiciones de México, en el territorio que cubre el acuífero predomina el clima árido (B), con algunas variantes. En la mayor parte de la superficie, que comprende las porciones norte, central y oriental, domina el clima BWhw árido semicálido. En la zona que rodea a la Sierra La Paila y en los extremos sur y noroccidental del acuífero, el clima es BSohw árido semicálido; en ambas variantes la temperatura media anual varía de entre los 18 y 22 °C, con temperatura del mes más caliente mayor a 22 °C. Por último, en zona topográficamente más alta, que corresponde a la Sierra La Paila, ubicada en la porción occidental del acuífero, el clima es BSokw, árido templado, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío entre los -3 y 18 °C. En todos los subtipos de clima el régimen de precipitación es principalmente en verano, con un porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10, del total de lluvia anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 10 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, 7 localizadas en el estado de Coahuila: Santa Teresa, La Rosa, Hipólito, La Sauceda, Alto de Norias, Ejido Reata y Ramos Arizpe (SMN) y 3 en el estado de Nuevo León: La Popa, Chupaderos del Indio e Icamole; con un periodo de registro que comprende de 1981 a 2010. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen se determinaron valores promedios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial media anual de **256.8 mm, 20.2°C y 1856 mm**, respectivamente.

3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en su totalidad en la Región Hidrológica (RH) 24 denominada Río Bravo-Conchos, en el límite con las Región Hidrológica 35 Mapimí y 36 Nazas-Aguanaval, Subregión Hidrológica Río San Juan, Cuenca Río Bravo-San Juan, subcuencas de los Ríos San Miguel y San Juan. Una pequeña área de la porción norte del acuífero pertenece a la cuenca Presa Falcón-Río Salado, subcuenca Arroyo Huizache.

El río Las Vegas es la corriente intermitente más importante; ingresa al acuífero en su porción sur-oeste, donde recibe por su margen izquierda afluentes de la Sierra La Paila, como son los arroyos La Norita, del Parejo, Loma Prieta y El Mimbres; y por su margen derecha recibe afluentes provenientes de las estribaciones montañosas del Cañón Largo, como los arroyos Las Brujas y El Derrumbadero.

Dentro del acuífero en sus primeros 30 km de recorrido tiene dirección preferencial oeste-este, y es retenido su curso por presas: El Tulillo y 6 km aguas abajo la presa Las Adjuntas, ambas ubicadas al sur de la localidad Hipólito.

Aguas abajo de la Presa las Adjuntas es interceptado su flujo por la presa Zuazua y 10 km abajo por la presa Los Ángeles, en donde cambia de nombre a arroyo La Norita, continuando con su dirección al noreste recorriendo 6 km más antes de ser interceptado por la presa San Miguel; después continúa con dirección noreste para recibir afluentes por su margen, arroyos El Tecolote, Tata Hilario y Los Camotes.

Continúa para desembocar en la presa Las Esperanzas y aguas abajo de ella cambia su nombre por Piedritas y también su dirección, ahora hacia el sur-este recorriendo aproximadamente 25 km más antes de salir del acuífero con el nombre de arroyo Carrizo.

Durante su último recorrido dentro de los límites del acuífero se le unen los arroyos San Lorenzo, por su margen derecha y El Coyote, por su margen izquierda. En la superficie del acuífero existe gran cantidad de presas, entre las que destacan 27, la mayoría de ellas con capacidad de almacenamiento menor de 2 hm³, con excepción de las presas El Tulillo, Las Esperanzas y Alto de Norias que tienen capacidad de 8.5, 3.4 y 2.4 hm³, respectivamente.

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 porción sur es topográficamente más alta y más accidentada que las regiones central y norte.

En la región centro-meridional de la zona existen pequeños valles intermontanos orientados E-W paralelos a las estructuras de las sierras. En la superficie cubierta por el acuífero se pueden distinguir 4 unidades geomorfológicas: Sierras anticlinales, valles sinclinales, valle principal y lomeríos-sierras de suave relieve. Las formas del relieve en las porciones sur y oriente 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 que existen 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 ligera pendiente topográfica en ese sentido, mientras que al poniente, las capas de areniscas más resistentes a la erosión que las constituidas por lutitas, producen salientes dispuestas en forma de terrazas. Las sierras La Gavia y La Chata, ubicadas al norte, 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 Paleo-península 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 Paleo-península de Coahuila y las rocas del Grupo Difunta de La Cuenca de Parras. Su cambio de dirección hacia el oriente posiblemente se debe 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 geología general que aflora en la zona que comprende el acuífero está constituida por un gran paquete de material aluvial y rocas sedimentarias, principalmente calcáreas, cuya distribución geográfica se muestra en la figura 2.

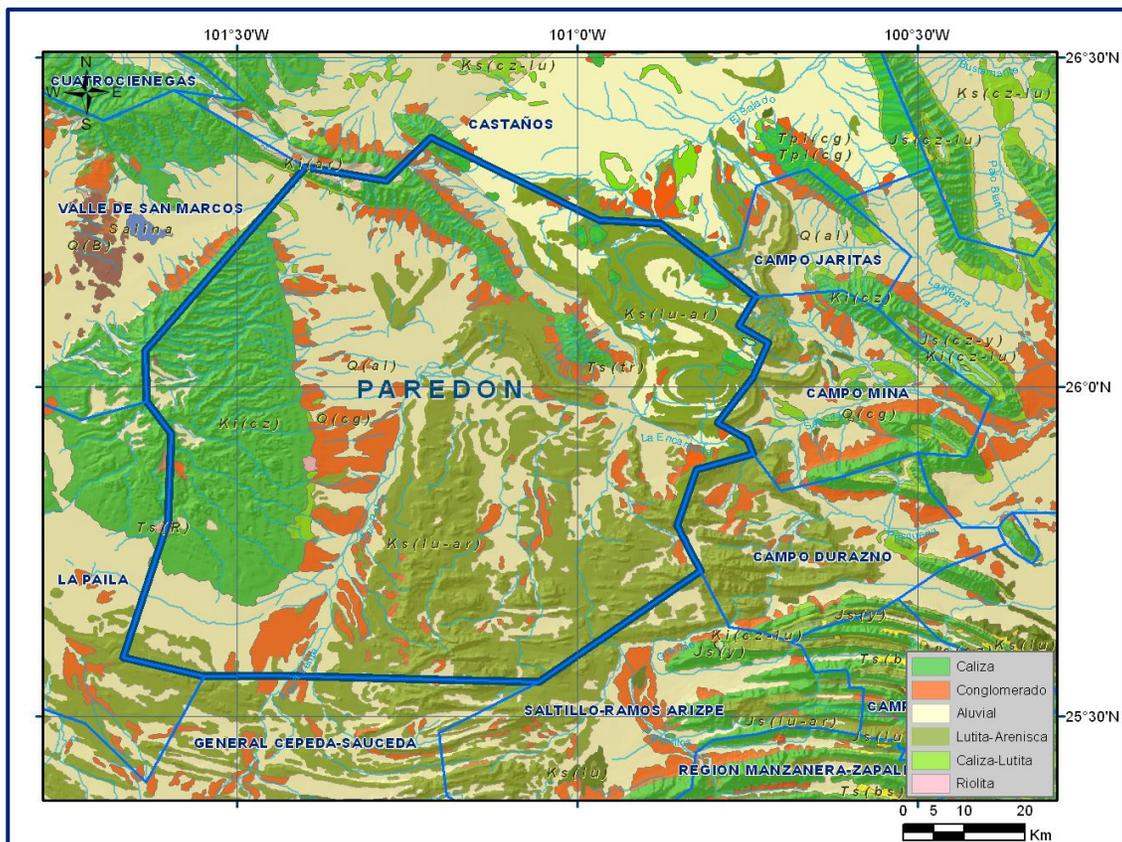


Figura 2. Geología general del acuífero

Regionalmente las rocas más antiguas están representadas por estratos de yeso y caliza que constituyen la Formación Minas Viejas cuya edad se asigna al Oxfordiano, que subyacen a las calizas de la Formación Zuloaga, la cual cambia de facies a las Formaciones La Gloria y Olvido. La Formación Olvido consiste de niveles de yeso y caliza dolomitizada, de edad Oxfordiano-Kimmeridgiano Inferior. La Formación Zuloaga está constituida por una secuencia calcárea, arcillosa en su base, de edad Oxfordiano-Kimmeridgiano, que se correlaciona por cambio de facies con la Formación La Gloria en la porción norte del sector transversal, en donde subyace concordantemente a las formaciones La Caja y La Casita.

El Cretácico está representado por los sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Taraises del Berriasiano al Hauteriviano, que descansan concordantemente sobre la Formación Carbonera, la cual está expuesta ampliamente en la curvatura de Monterrey y se compone de una alternancia de lutitas arenosas interestratificadas con areniscas, cuya edad corresponde al Berriasiano.

Del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano se depositaron calizas de la Formación Cupido, que afloran por toda la zona; subyace concordantemente a calizas y lutitas de la Formación La Peña del Aptiano; ésta a su vez subyace transicional y concordantemente a calizas arrecifales de la Formación Aurora, la cual es correlacionable con la Formación Cuesta del Cura del Albiano-Cenomaniano (calizas-lutitas); hacia su cima se encuentra en contacto con la Formación Indidura del Cretácico Superior y con la Formación Agua Nueva. Durante el Cenomaniano Tardío al Turoniano se depositaron sedimentos arcillo calcáreos de la Formación Indidura (posiblemente su rango sea hasta el Santoniano), los cuales cambian gradualmente a sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Agua Nueva.

En el Coniaciano-Santoniano se depositan sedimentos areno-arcillosos de la Formación Caracol que mediante un cambio lateral de facies pasa a una secuencia de lutitas y calizas de la Formación San Felipe. La Formación Parras está constituida por lutitas y areniscas, su cambio a la Formación Caracol es transicional, esta unidad es correlacionable en la región con la Formación Méndez y su equivalente en la Cuenca de Parras, que se interpreta como un cambio de facies lateral con las cinco formaciones siliciclásticas de grano muy fino (lutita-limolita-arenisca) que conforman el Grupo Difunta, cuyas relaciones estratigráficas entre ellas son concordantes y transicionales, con edades que varían del Campaniano al Maastrichtiano.

En el Cuaternario se depositaron horizontes de travertino, considerados de edad Pleistoceno. En el Holoceno el relleno es principalmente de coluvión, que en general es material mal consolidado de granulometría diversa, hasta que, finalmente, en los valles y los arroyos aparecen depósitos aluviales, constituidos por grava, arena y limo.

4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica presente en la región está representada por rocas, principalmente sedimentarias, cuyas edades comprenden el registro Jurásico Superior al Reciente. A continuación se describe cada una de ellas, de la unidad más antigua a la más reciente:

JURÁSICO SUPERIOR

Formación Minas Viejas

Nombre con el que Humphrey y Díaz (1956) se refirieron a la unidad evaporítica constituida por anhidrita, yeso y halita, con intercalaciones aisladas de lutitas, calizas y areniscas que subyacen a la Caliza Zuloaga en varios anticlinales de Coahuila y en particular en el anticlinal Minas Viejas. PEMEX en su pozo Minas Viejas No. 1 penetró cerca de 3,000 m en esta formación sin atravesar totalmente la serie de calizas, aunque la sal sí se atravesó. No hay duda de que gran parte del Golfo de Sabinas, está subyacido por la sal jurásica de Minas Viejas, desafortunadamente, las perforaciones realizadas no la han alcanzado. Su edad corresponde al Oxfordiano.

Formación Zuloaga

Esta formación fue descrita originalmente por Burckhardt (1906) y Bose (1923) en la región norte-central de México, llamándola “calizas con nerineas”. Imlay (1938) asignó el nombre de Formación Zuloaga a una secuencia de calizas dispuestas en estratos gruesos, con nódulos de pedernal negro y contenido fósil de bivalvos y gasterópodos, señalando como localidad tipo la Sierra Sombrerete, ubicada al norte del Poblado Melchor Ocampo, Zac.

Está representada por una caliza resistente a la erosión que forma los núcleos de los anticlinales en la que se distinguen dos unidades bien definidas: la parte inferior contiene capas de caliza, cuyo color varía de gris claro a ligeramente oscuro, presenta una coloración rojiza o amarillenta al intemperismo, contiene también algunas capas de limolita calcárea débilmente consolidada.

La parte superior está constituida por caliza masiva de color gris, que se caracteriza por presentar estilolitas de gran amplitud y algunos horizontes donde se presentan pequeños nódulos de pedernal de color negro. Se correlaciona con la Formación Olvido, que es un cambio lateral de facies de la primera, constituida por yeso, calizas y limolitas interestratificadas. Su espesor aproximado es del orden de 500 m.

Formación La Casita

El término fue designado por Imlay (1936) para referirse a los sedimentos de aguas someras del Jurásico Superior limitados en la parte inferior por la Formación La Gloria del Jurásico Superior o Zuloaga y arriba por la Formación Taraises.

Su localidad tipo se localiza en el Cañón La Casita, ubicado aproximadamente a 16 km al sur del poblado General Cepeda, Coahuila y a 50 km al SE de Saltillo (Imlay, 1937), en la cual su litología consiste de 60 m de lutitas que presentan colores que varían de gris oscuro a negro, físeles e interestratificadas con delgadas capas de calizas y areniscas de color amarillento.

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, esquistos 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. 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. Aflora en los núcleos de los anticlinales, como sucede en los anticlinales Los Nuncios, San Lucas, Los Chorros y en la vertiente septentrional de la Sierra de Arteaga. Su espesor promedio es de 360 m.

El contacto inferior de la Formación La Casita con la Formación Zuloaga es concordante y su contacto superior con la Formación Taraises también es concordante y marcado litológicamente por el término de las lutitas de color rosado con concreciones calcáreas y el inicio de calizas de estratos medios en la Formación Taraises; se observa a distancia porque la Formación Taraises forma morros (escarpes) y La Casita no. Ambos contactos se aprecian con facilidad en las fotografías aéreas. La estratigrafía cambia al sur a la Formación La Caja.

De las formaciones jurásicas La Casita es la que tiene mayores afloramientos en el área Torreón-Monterrey. De acuerdo con su posición estratigráfica y su contenido faunístico, se le asigna una edad correspondiente al Kimmeridgiano-Tithoniano y se correlaciona con las formaciones Pimienta y Tamán de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación La Caja del norte-centro de México

CRETÁCICO INFERIOR

Formación Taraises

Fue definida por Imlay para referirse a una sección calcárea y calcáreo-arcillosa, limitada en la parte inferior por la Formación La Caja o La Casita y en la parte superior por la Caliza Cupido, designando como localidad tipo el Cañón de Taraises, ubicado en la porción occidental de la Sierra de Parras, donde la dividió en dos miembros:

El inferior conformado por capas gruesas de calizas de color gris, interestratificadas con areniscas, y el superior constituido por calizas arcillosas de color gris, nodulares y con presencia de amonitas en la parte basal. Está constituida de caliza con cantidades menores de limolita, que descansan sobre sedimentos arcillosos de la Formación La Caja.

En las partes altas de las montañas plegadas que forma, las capas de caliza son de espesor mediano a grueso, densas y de color gris claro a oscuro. La limolita que contiene se presenta intercalada en proporciones variables. La Formación Taraises es un depósito que se llevó a cabo en aguas relativamente profundas, alcanza un espesor aproximado de 150 m.

Aflora en forma de franjas delgadas de poco espesor en las sierras plegadas ubicadas principalmente en la porción norte del acuífero, cuyos contactos, inferior y superior son concordantes con las formaciones La Casita y Cupido respectivamente.

Se correlaciona con las formaciones Barril Viejo, Caliza Menchaca y Padilla de las Sierra Dos Hermanas o anticlinal de Oballos; con la Arcosa San Marcos en la Sierra San Marcos, con la serie Coahuilense en el Cerro de la Silla de Monterrey y la Formación Santuario de Ixmiquilpan.

Formación Cupido

Término definido por Imlay para una sección calcárea que descansa sobre la Formación Taraises y subyace a la Formación La Peña, cuya localidad tipo es la pared norte del Cañón del Mimbres, localizado en la porción media de la Sierra de Parras, aproximadamente a 60 km al SE de la población del mismo nombre, en el estado de Coahuila. Representada por rocas muy resistentes y homogéneas constituidas principalmente por calizas de estratificación mediana a gruesa de coloración gris claro, que presentan concreciones de pirita, lentes y nódulos de pedernal color gris y estilolitas; en algunas localidades con intercalaciones de limolitas calcáreas y en menor proporción lutitas. Sus mejores afloramientos se localizan en el Cañón Mimbres de la porción media de la Sierra de Parras, en Coahuila.

Está conformada por calizas en estratos gruesos, intercalados con estratos delgados de calizas arcillosas. Tiene amplia distribución en las sierras de los límites oriente y poniente del acuífero, así como en algunas de la porción central. Presentan fracturamiento y desarrollo de los procesos kársticos, por lo que es una de las unidades calcáreas más importantes desde el punto de vista hidrogeológico. El contacto inferior con la Formación Taraises es nítido y concordante, el superior con la Formación La Peña es brusco y concordante.

Su edad corresponde a la parte final del Hauteriviano al Aptiano Inferior y se correlaciona con la porción superior de la Formación Tamaulipas Inferior de la Cuenca Tampico-Misantla. En la Cuenca de Chihuahua se correlaciona con la porción superior de la Formación Las Vigas, con la base de la Formación Cuchillo y en el centro de Texas con la Formación Sligo.

Formación La Peña

El nombre fue introducido por Imlay (1936) para distinguir a un cuerpo compuesto por dos miembros: El inferior constituido por calizas y el superior por lutitas y calizas, que estratigráficamente se ubica entre la Caliza Cupido y la Caliza Aurora. Su localidad tipo se ubica en el flanco norte de la Sierra de Taraises, a 4.8 km al este-sureste de la Hacienda La Peña, localizada en el extremo sur del estado de Coahuila. Se describe como un grupo de estratos calcáreo arcillosos, cuya base comienza como una secuencia de calizas de estratificación delgada de color gris claro y continúa en la parte media con calizas que presentan cantidades variables de arcilla deleznable, de color amarillento y gris, con abundante pirita en las calizas y lentes pequeños de sílice blanca.

En la cima se observa una alternancia entre caliza arcillosa, con caliza micrítica con bandas y lentes de pedernal negro y estratificación ondulada. Por su naturaleza arcillosa, es fácilmente erosionable y constituye un horizonte índice ya que su identificación resulta sencilla al formar depresiones entre las calizas más resistentes de la Formación Cupido. Sus afloramientos en el área del acuífero representan franjas de espesor reducido, asociadas a la Formación Cupido, a la cual sobreyace concordantemente. A su vez, es cubierta concordantemente por la Formación Cuesta del Cura. Su espesor promedio es de 60 m. Se correlaciona con el horizonte Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo en la Cuenca de Chihuahua y con la Formación Las Uvas del área de Acatita-Las Delicias, Coahuila.

Formación Aurora

Humphrey (1956) propuso que el término Formación Aurora fuera modificado para incluir todas las rocas carbonatadas del NE de México ubicadas estratigráficamente entre la Formación La Peña o sus equivalentes, abajo, y la Formación Cuesta del Cura y otros equivalentes del Grupo Washita o la Formación Kiamichi arriba. Está representada por calizas de aguas profundas (mudstone y wackstone), de estratificación mediana a gruesa, en ocasiones masiva con nódulos de pedernal y en otras con delgadas capas del mismo material; aflora en gran parte de la región ubicada entre Torreón y Monterrey. Sus contactos inferior y superior con las formaciones La Peña y Cuesta del Cura, respectivamente, son nítidos y concordantes. Por su posición estratigráfica corresponde al principio del Albiano al Albiano Medio. Se correlaciona con la porción inferior de la Caliza El Abra y la porción inferior de la Formación Tamaulipas Superior, en la Cuenca Tampico-Misantla; con las formaciones Acatita y Paila del área de Delicias, Coahuila, y con la barrera arrecifal denominada Formación Viesca.

Formación Kiamichi

Llamada originalmente Arcillas Kiamita por Hill (1891) ubicando la localidad tipo en las planicies del río Kiamichi cercano a Fort Towson, Oklahoma, cuya litología fue definida como una secuencia de margas y calizas arcillosas. Imlay (1944) considera que la unidad formada por sedimentos arcillo-calcáreo de estratificación delgada con la amonita *Oxytropidoceras* que afloran en el norte de Nuevo León y oriente de Chihuahua, ocupa la misma posición estratigráfica que la lutita Kiamichi de Texas. Consiste de una secuencia de lutitas arcillosas que en su porción media presenta un miembro calcáreo de estratos medianos de 0.3 m, de textura mudstone a wackestone.

Su espesor es reducido varía entre 10 y 40 metros. Sobreyace a la Formación Aurora y subyace al Grupo Washita. Ambos contactos son concordantes y transicionales, aunque en el flanco oeste de la sierra La Purísima presenta un contacto tectónico con la caliza de la Formación Aurora. Con base a su posición estratigráfica y de acuerdo a la fauna colectada en los afloramientos del Golfo de Sabinas, se le ha asignado edad de fines de Albiano medio a principios de Albiano superior. Se correlaciona con la Formación Cuesta del Cura de la Sierra Madre Oriental, la parte superior de la Formación Acatita y la parte inferior de la Formación Treviño.

Formación Cuesta del Cura

Imlay (1936) describió por primera vez la Caliza Cuesta del Cura, de acuerdo con los afloramientos de calizas delgadas ondulantes con bandas de pedernal negro que afloran a 6.4 km al W de Parras, Coahuila, área en donde esta unidad se encuentra entre la Caliza Aurora y la Formación Indidura. Se distribuye en los anticlinales de Parras, Taraises, Prieta y Santiago, al SE de Torreón, pero aflora ampliamente en casi toda la zona Torreón-Monterrey, aunque con espesores menores de 300 m.

Su litología consiste principalmente de capas medianas a delgadas y onduladas de caliza de color gris a negra, compacta y un poco arcillosa. Contiene además nódulos, lentes y bandas de pedernal negro, ocupa generalmente las partes bajas de las sierras, aflorando como una banda de lomeríos alineados. Aflora en el Cañón de La Huasteca, en el estado de Nuevo León; Loma Alta, en el Cañón del Chorro, y en las sierras Zapalinamé, Arteaga, La Nieve y San José de Los Nuncios, del estado de Coahuila. Sus contactos inferior y superior con las formaciones Aurora e Indidura, respectivamente, son concordantes y bruscos. Por su contenido faunístico fósil, su edad abarca desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano Inferior. Se correlaciona con las formaciones Tamaulipas Superior y El Abra de la Cuenca Tampico-Misantla; y la porción inferior de la Formación Kiamichi, Grupo Washita, Indiferenciado del NE de México y oriente de Texas, con la Formación Doctor en el centro México y La Formación Acatita, en el área de Delicias, Chihuahua.

Grupo Washita

Sobreyace concordantemente a las calizas de la Formación Aurora o a su cambio de facies lateral que es la Formación Acatita. Está compuesta por calizas y lutitas de edad Albiano Superior-Cenomaniano Inferior, que cambian lateralmente a facies a las calizas de la Formación Treviño y a la Caliza Monclova.

Subyace concordantemente a lutitas calcáreas interestratificadas con calizas arcillosas, así como a calizas y lutitas pertenecientes a la Formación Eagle Ford e Indidura, del Cenomaniano Superior-Turoniano.

CRETÁCICO SUPERIOR

Formación Indidura

Fue estudiada por primera vez por Emil Bosé en 1906 en la Sierra de Parras, y posteriormente fue definida por W.A. Kelly (1936) en su localidad tipo de Delicias, Coahuila y la bautizó por el afloramiento localizado en el flanco oriental del Cerro La Indidura, localizado aproximadamente a 8 km al norte de Tanque Toribio.

Generalmente aflora en las laderas de las sierras; consiste principalmente de dos series diferentes que están formadas en la parte inferior, de caliza arcillosa dispuesta en capas delgadas y lajeadas, con numerosas capas medianas o gruesas de caliza laminar color gris oscuro y de limolita calcárea que es de color amarillento. La parte superior está formada de una lutita gris muy homogénea, fácilmente erosionable, que en la parte más alta, casi en contacto con la Formación Caracol, presenta un cambio de facies a una lutita arenosa. Sobreyace por medio de un contacto concordante y abrupto a la Formación Cuesta del Cura, solo identificado por el incremento de sedimentos pelíticos y la ausencia de pedernal. Su espesor promedio es de 200 m; se correlaciona con la Formación Soyatal de la Cuenca Mesozoica del centro de México, con la Formación Mezcala del Sur de México y con La Formación Agua Nueva de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

Aflora en el flanco norte de la sierra San José de los Nuncios, sobre la Cañada Cabritas y en el flanco sur del cerro San Antonio; de manera aislada en el flanco norte del anticlinal San Lucas, sobre la cañada Potrerillos, en el flanco sur del Anticlinal de Arteaga y en ambos flancos del anticlinal El Chorro. Las formaciones Indidura y Agua Nueva, son correlacionables esta última que aflora en el cañón de la Huasteca, N.L.

Formación Parras

Definida por Imlay en 1936 para referirse a una secuencia de 1,200 m de lutitas carbonosas negras con escasas intercalaciones de areniscas. Está constituida por una litología muy homogénea de lutitas calcáreas y calizas arcillosas, estas últimas intercaladas en forma esporádica dentro de la secuencia arcillo-calcárea.

Las lutitas son calcáreas de color negro a gris oscuro, estratificadas en capas delgadas y medianas. Al intemperismo muestran un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lápiz, destruye los planos de estratificación. Se considera que la potencia de la secuencia arcillo-calcárea varía de 400 a 800 m y cubre de manera concordante y transicional a la Formación Indidura, por lo que es difícil precisar la zona de contacto entre ambas unidades.

Su contacto superior, dentro de los límites del acuífero, es con los sedimentos continentales del Reciente por medio de discordancia angular.

Esta formación junto con el Grupo Difunta, corresponde a los sedimentos terrígenos característicos de la Cuenca de Parras. Tiene una edad Santoniano-Coniaciano y se correlaciona con la Formación San Felipe de la Sierra Madre Oriental y de la Cuenca de Sabinas y con las formaciones Austin, Indidura y Méndez.

Aflora sobre los flancos norte y sur del anticlinal San José de los Nuncios; se reporta un espesor de 1524 m en la localidad tipo y de 595 a 610 m en el Cañón La Casita, ubicado al sureste del estado de Coahuila. El contacto con la Formación Austin es por cambio de facie, el contacto superior con el Grupo Difunta es concordante, y el contacto inferior es concordante con la Formación Indidura, dentro de la Sierra Madre Oriental.

Grupo Difunta

De manera transicional y concordante sobre las lutitas de la Formación Parras, se localiza El Grupo Difunta, constituido por una secuencia monótona de areniscas, lutitas y limolitas, de edades que varían del Cretácico Superior al Cenozoico Inferior, cuyo espesor conjunto supera los 1,000 m en algunas zonas.

El Grupo Difunta fue estudiado y denominado como Formación Difunta por Imlay (1936), en las colinas de El Pozo Boquillas, al norte del extremo occidental de la Sierra de Parras. El nombre fue tomado de un pequeño cerro conocido como Cerro Difunta que se encuentra a 4.5 km., al norte del poblado de Pozo Boquillas.

Posteriormente, Boyd (1959), en un trabajo realizado al norte de Saltillo, estableció para la secuencia Difunta una clasificación de 7 unidades, que por su posibilidad de mapeo, distribución y espesores, fueron definidas como formaciones (informalmente), de modo que la formación quedó elevada al rango de Grupo.

Las formaciones que componen este grupo se conocen con los nombres Cerro del Pueblo, Cerro Huerta, Cañón del Tule, Las Imágenes, Cerro Grande, Las Encinas y Rancho Nuevo. 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 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.

Formación Cerro del Pueblo

Esta unidad está compuesta por una secuencia de lutitas, areniscas y limonitas. Su localidad tipo se encuentra al noroeste de los límites de la ciudad de Saltillo, por la carretera No. 57 a Torreón. Sobreyace a la lutita Parras y está cubierta por las capas rojas de la Formación Cerro Huerta. Su espesor más potente, de 500 m aproximadamente, se presenta en las cercanías de Saltillo. Se correlaciona con la Formación Méndez de la Cuenca de Burgos y con la Formación San Miguel y Olmos, de la Cuenca de Sabinas. Se le asigna una edad correspondiente al Santoniano.

Formación Cerro Huerta

Secuencia de areniscas, lutitas, limonitas rojas y verdes que afloran en la porción central y occidental de la zona de estudio, la cual tiende a acuñarse hacia el norte y este, sobreyace a la Formación Cerro del Pueblo y subyace a la Formación Cañón del Tule. Su espesor es de 978 m en la localidad tipo ubicada cerca de Saltillo.

Formación Cañón del Tule

Secuencia de sedimentos arcillosos que sobreyace concordantemente a la Formación Cerro de Huerta y subyacen a la Formación Imágenes, su localidad tipo se encuentra en el Cañón del Tule y aflora principalmente en las porciones central y occidental de la Cuenca de Parras.

Formación Las Imágenes

Constituida por rocas arcillo-calcáreos que afloran en la porción central de la Cuenca de Parras, sobreyaciendo a la Formación Cañón del Tule y subyaciendo a la Formación Cerro Grande.

Formación Cerro Grande

Está integrada por grauvacas calcáreas cuya localidad tipo se encuentra en el Cerro Grande, ubicado al oeste de la población Las Imágenes, aproximadamente a 20 km de Saltillo.

Formación Las Encinas

Alternancia de capas delgadas, medias y gruesas de lutitas, areniscas y limonitas cuyo espesor conjunto es aproximadamente 20 m; su sección tipo se localiza a 28 km al norte de Saltillo. Aflora principalmente en la porción norte de la Cuenca de Parras. Sobreyace a la Formación Cerro Grande y subyace a la Formación Rancho Nuevo.

Formación Rancho Nuevo

Corresponde a una alternancia de estratos delgados a medios de lutitas, areniscas y limonitas que subyacen a la Formación Las Encinas; su localidad tipo se encuentra a 27 km de Saltillo, aflora en la porción norte de la Cuenca de Parras y es la formación más joven del Grupo La Difunta. Durante el Oligoceno se generaron derrames andesíticos. En forma discordante, se depositó un conglomerado oligomítico conocido como **Conglomerado Sabinas** que es de la misma edad que el **Conglomerado Reynosa**.

CUATERNARIO

Cubriendo los valles se encuentran materiales granulares producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. Corresponden principalmente a arenas, gravas y cantos rodados de calizas y conglomerados polimíticos que constituyen los pie de monte y los valles.

En las zonas cercanas a las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos intermitentes que los acarrean en épocas de lluvias. Su espesor promedio es de 10 a 30 m, pero puede alcanzar hasta 100 m. Hacia las partes bajas de los valles, predominan las gravas y arenas a lo largo de incipientes cauces de inundación, donde solo escurre agua superficial en tiempo de lluvias. En las partes más bajas de los valles se acumulan materiales aluviales finos, principalmente arcillas y en menor proporción arenas.

4.2 Geología estructural

Las estructuras predominantes corresponden a dos grandes tipos de plegamiento.

El primero consiste en anticlinales alargados, relativamente angostos, de flancos asimétricos, algunos recostados y afallados, con buzamientos suaves en ambos extremos cuyos ejes son burdamente paralelos a los bordes de los antiguos elementos paleogeográficos del Jurásico Tardío. El segundo tipo de plegamientos se caracteriza por anticlinales amplios, ligeramente cómicos, a veces bifurcados, de rumbo preferencial NW-SE. La deformación de estas estructuras está relacionada con el movimiento vertical de sal o anhidritas que es evidente en el núcleo erosionado de varias estructuras observadas en la porción sureste de la cuenca (Potrero Chico, Las Ánimas y Baluartes).

La región se ubica en la convergencia de los Terrenos Sierra Madre y Coahuila. Se considera que la carpeta sedimentaria mesozoica se depositó sobre los basamentos de dichos terrenos, que evolucionaron durante el Paleozoico Tardío, cuando ocurrió el cierre del océano Proto-Atlántico. Tectónicamente, las estructuras desarrolladas en la Sierra Madre Oriental y en la Cuenca de Parras, están afectadas por fallas inversas de bajo ángulo, inclinadas en la misma dirección de transporte tectónico.

Este arreglo morfo-estructural permitió el desarrollo de un corredor tectónico ubicado al sur del Terreno Coahuila, en donde el estilo de deformación se caracteriza por el desarrollo de fallas profundas y anticlinales de bajo relieve, cuyos ejes coinciden con los bordes paleogeográficos de la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Parras.

La deformación es el resultado de los esfuerzos compresivos provenientes del sur-suroeste, asociados a la época orogénica laramídica, cuando la Isla de Coahuila y la Península de Tamaulipas, se mantuvieron como contrafuertes cratónicos. Los pliegues son simétricos –algunos asimétricos–, con orientación preferente al noroeste-suroeste que varía de este-oeste, con vergencia al norte (Carta Geológico-Minera Ramos Arizpe G14-C24. Escala 1:50,000. SGM, 2010).

Las estructuras más significativas que se generaron en la región son pliegues simétricos y asimétricos con ejes orientados preferentemente NW-SE. Asociados a estos pliegues se desarrollaron cabalgaduras cortas, paralelas a los ejes de los pliegues, además de cabalgaduras y fallas inversas producidas por la inyección de yesos en diapiros. La deformación frágil está representada por fallas de desplazamiento lateral y normal, con dirección general NW-SE.

Destacan en el norte del acuífero anticlinales extensos orientados en sentido noroeste-sureste, que pasan por la parte más alta de la Sierra La Gavia; en la región occidental destaca la Sierra La Paila que tiene una orientación sureste-noroeste en el extremo sur y suroeste-noreste en la porción norte.

Se identifican dos estilos de plegamiento; uno estrecho y alargado con orientación preferencial noroeste-sureste y otro este-oeste, en rocas del Cretácico inferior; el otro corresponde con pliegues amplios sin una tendencia preferencial con flexiones en sus ejes de noroeste-sureste a norte-sur y noreste, formados en rocas del Cretácico Superior-Cenozoico Paleógeno. Los lineamientos corresponden con fallas regionales que cortan las estructuras plegadas.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, así como con la información obtenida de cortes de pozos, es posible definir que en el subsuelo se presentan lutitas, areniscas y calizas sobreyacidas por delgados espesores de depósitos aluviales y coluviales, así como de piedemonte hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero.

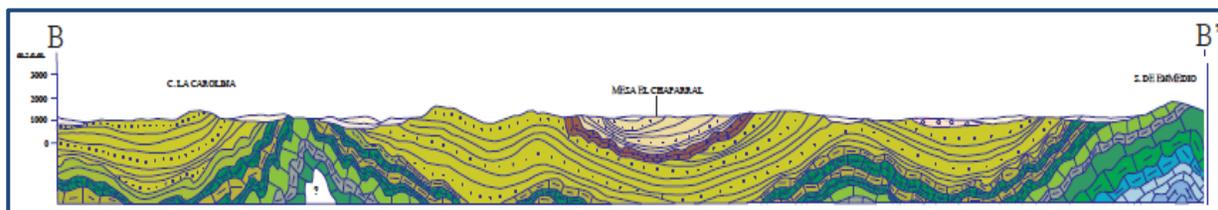
El acuífero se encuentra alojado y constituido por dos medios, uno granular en su porción superior, conformado por una delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales producto de la erosión de las partes altas de las sierras, que han sido transportados por abanicos aluviales, por escurrimientos superficiales para ser depositados en los cauces de los arroyos y las planicies, así como por conglomerados polimícticos. La porción inferior es un medio fracturado que está constituido por lutitas y lutitas calcáreas alteradas de la Formación Parras, que junto con la unidad superior forman un acuífero de baja permeabilidad y de reducida capacidad de almacenamiento. La mayor parte del subsuelo de la región está conformada por las lutitas calcáreas de la Formación Parras cubierta en ocasiones por la secuencia de lutitas y areniscas del Grupo Difunta.

El predominio de sedimentos granulares y conglomerados de granulometría fina así como la presencia de lutitas en los valles anticlinales, le confieren muy baja permeabilidad al acuífero, dado que los bajos caudales que aporta sólo son suficientes para el abastecimiento de las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero, están representadas por las mismas rocas sedimentarias cuando se presentan inalteradas y al desaparecer el fracturamiento, así como por la secuencia de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas del grupo Difunta. A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por la secuencia de calizas arcillosas y lutitas del Cretácico Inferior y Jurásico.

La secuencia de rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Jurásico Superior constituye un acuífero de alta permeabilidad que al estar sobreyacidos por rocas arcillosas, presenta condiciones de semiconfinamiento y confinamiento. Este es la unidad que se explota para satisfacer las necesidades de los usos mayores en la región.

En la figura 3 se presenta una sección geológica esquemática que muestra la compleja geología estructural de la región y la delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales que se depositaron en los anticlinales.



Fuente: Carta Geológica-Minera G14-4 "Monclova" Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido por un medio granular y otro fracturado. La porción superior está conformada por sedimentos aluviales, de granulometría variada, así como conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar algunas decenas de metros en el centro de los valles; la porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente lutitas de la Formación Parras, cuando presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Esta es la unidad que se explota para satisfacer las necesidades del uso doméstico y pecuario.

Las calizas cretácicas y jurásicas representan un acuífero de buen potencial que presenta condiciones de **semiconfinamiento y confinamiento**, debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas. Por su posición estratigráfica y ubicación forman las principales sierras que limitan al valle, constituyendo las zonas de recarga. En el subsuelo conforman el acuífero que representa actualmente la principal fuente de abastecimiento de agua potable.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2014, se ejecutaron 10 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente se recopiló información de 10 pruebas más del estudio realizado en 2006 y 15 pruebas más realizadas en 2014 en el acuífero vecino Saltillo-Ramos Arizpe.

De su interpretación por métodos analíticos convencionales y por el modelo numérico de Rathod y Rushton (1991) para las pruebas realizadas en 2014, se determina que los valores medios de transmisividad varían entre **9.4×10^{-7}** y **$3.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** . Los valores de conductividad hidráulica varían de **4.63×10^{-4}** y **$1.04 \times 10^{-6} \text{ m/s}$** (**40.0 a 0.09 m/d**). Los valores más altos corresponden a pozos perforados en rocas calizas o en sedimentos de granulometría gruesa mientras que los más bajos se presentan en los pozos construidos en zonas de relleno de baja permeabilidad o en lutitas.

Ninguna de las pruebas de bombeo realizadas en Paredón contó con pozo de observación; sin embargo mediante el modelo numérico de obtuvieron valores de rendimiento específico que varían de **0.03 a 0.1**. En Saltillo-Ramos Arizpe el valor de este parámetro fue de **2.1×10^{-9}** y **1.7×10^{-4}** , en los pozos perforados en las calizas de la Sierra de San Lucas y en la Zona de Ramos Arizpe, respectivamente.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada como parte de las actividades de los estudios realizados en 2006 y 2014. Debido a que los niveles del agua subterránea no han registrado cambios significativos en su distribución geográfica, para la descripción del comportamiento hidráulico únicamente se describe el último año y para la evolución el periodo 2006-2014.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2014 muestra que los valores varían, de manera general, de 8 a 100 m, los cuales se incrementan, de manera general, por efecto de la topografía desde el centro de los valles, hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan.

Los niveles estáticos más someros, menores de 20 m, se presentan en la porción oriental y norte del acuífero, en las inmediaciones de los ejidos Mesillas, La Azufrosa y El Espinazo, así como en la porción centro y suroccidental, entre las comunidades Alto de Norias y Estación Hipólito.

Los más profundos, de 70 a 100 m, se registraron en la porción sur del acuífero, en la periferia de las localidades San Miguel y San Felipe, respectivamente (figura 4).

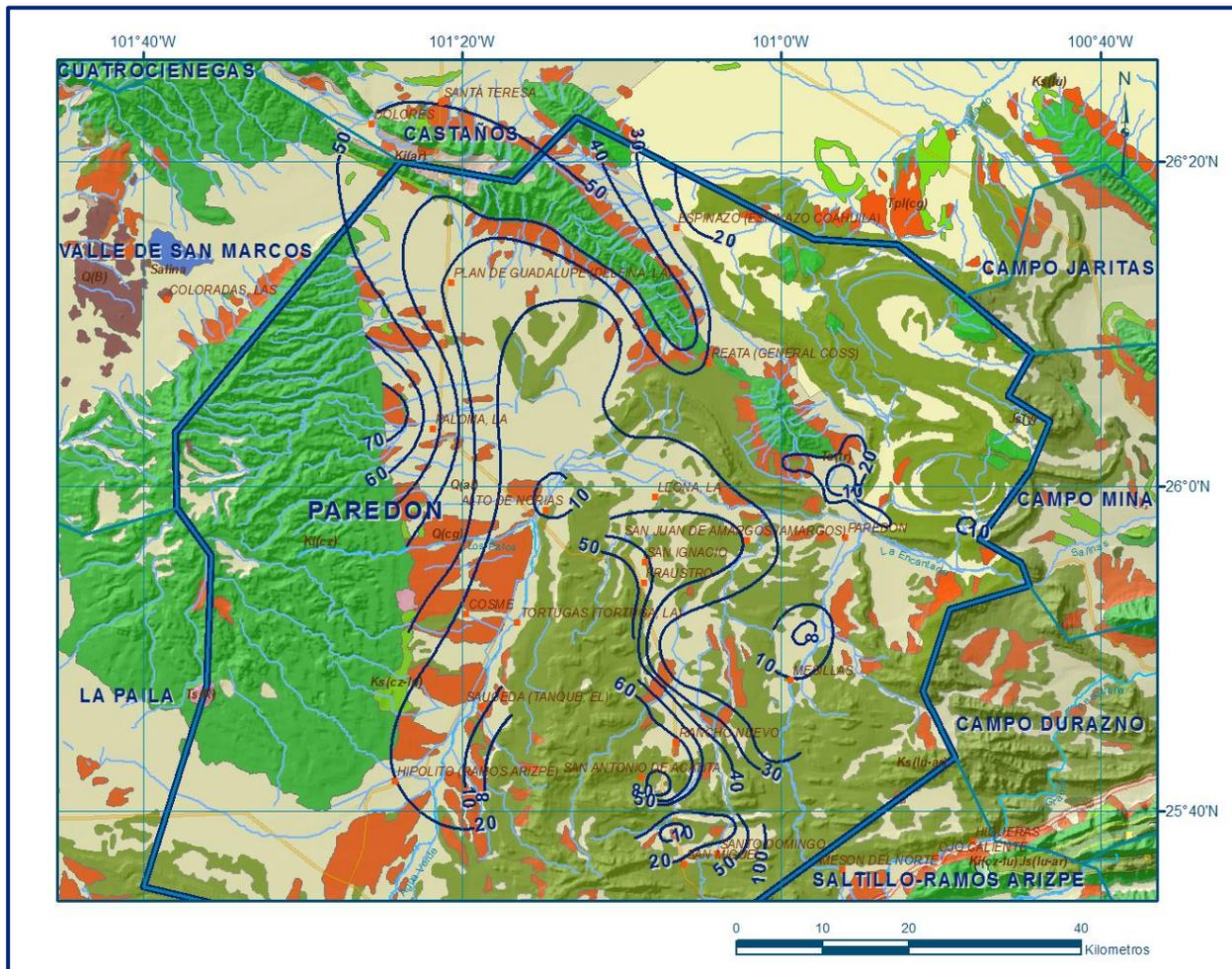


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2014 registró valores que variaron de 1105 a 720 msnm, los cuales decrecen, al igual que la topografía, desde la porción sur y occidental del acuífero hacia el valle aluvial localizado en la región central y continuar hacia el este, mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo sur-norte en la región sur del acuífero, y oeste-este en la porción central, desde la Sierra La Paila, paralelas a la dirección del escurrimiento superficial, con alimentaciones provenientes del flanco noroccidental, para finalmente dirigirse hacia el límite con el estado de Nuevo León y el acuífero vecino Campo Mina (figura 5).

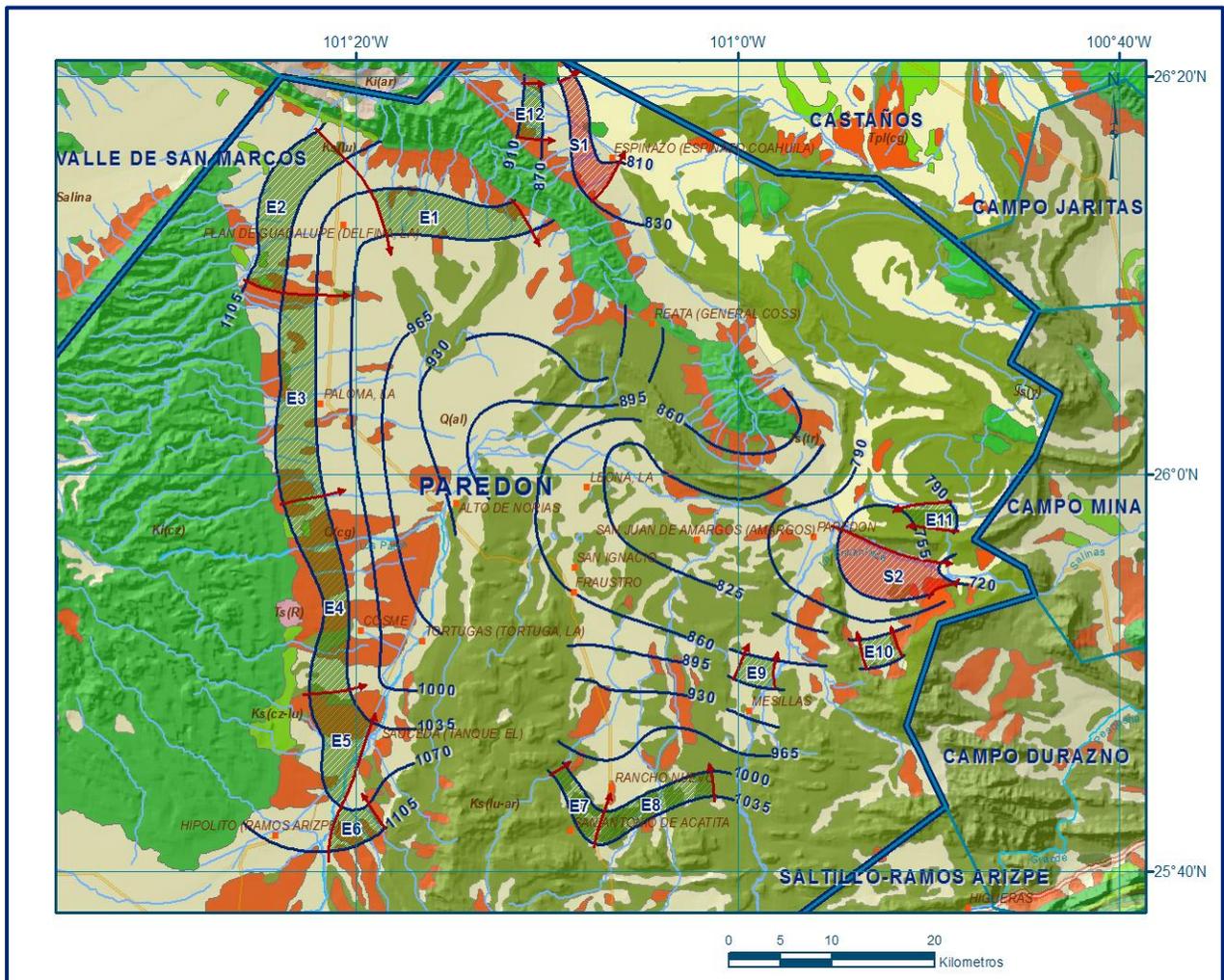


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2014)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2014 registra valores tanto de abatimiento como de recuperación en toda la zona de explotación. Los abatimientos varían de 1 a 10 m, es decir de 0.1 a 1.2 m anuales, y se registran en la porción norte, centro y suroriental del acuífero, en las inmediaciones del Ejido El Espinazo, y las localidades La Leona, San Miguel y Rancho Nuevo, respectivamente. En la porción oriental, entre las localidades Paredón y San Juan de Amargos, donde se localiza una zona agrícola, los abatimientos son menores, de 1 a 2 m para este periodo. En cuanto a las recuperaciones, sus valores varían de 1 a 8 m, de 0.1 a 1.0 m anuales, y se registraron en la porción noroccidental, en las cercanías de Ejido Plan de Guadalupe y La Popa; en la región suroccidental, en las inmediaciones del Ejido Alto de Noria y hacia La Sauceda; en la porción sur, entre las localidades Ejido Fraustro y San Felipe. En el extremo oriental, hacia la comunidad llamada La Azufrosa se observaron recuperaciones de 1 a 3 m (figura 6).

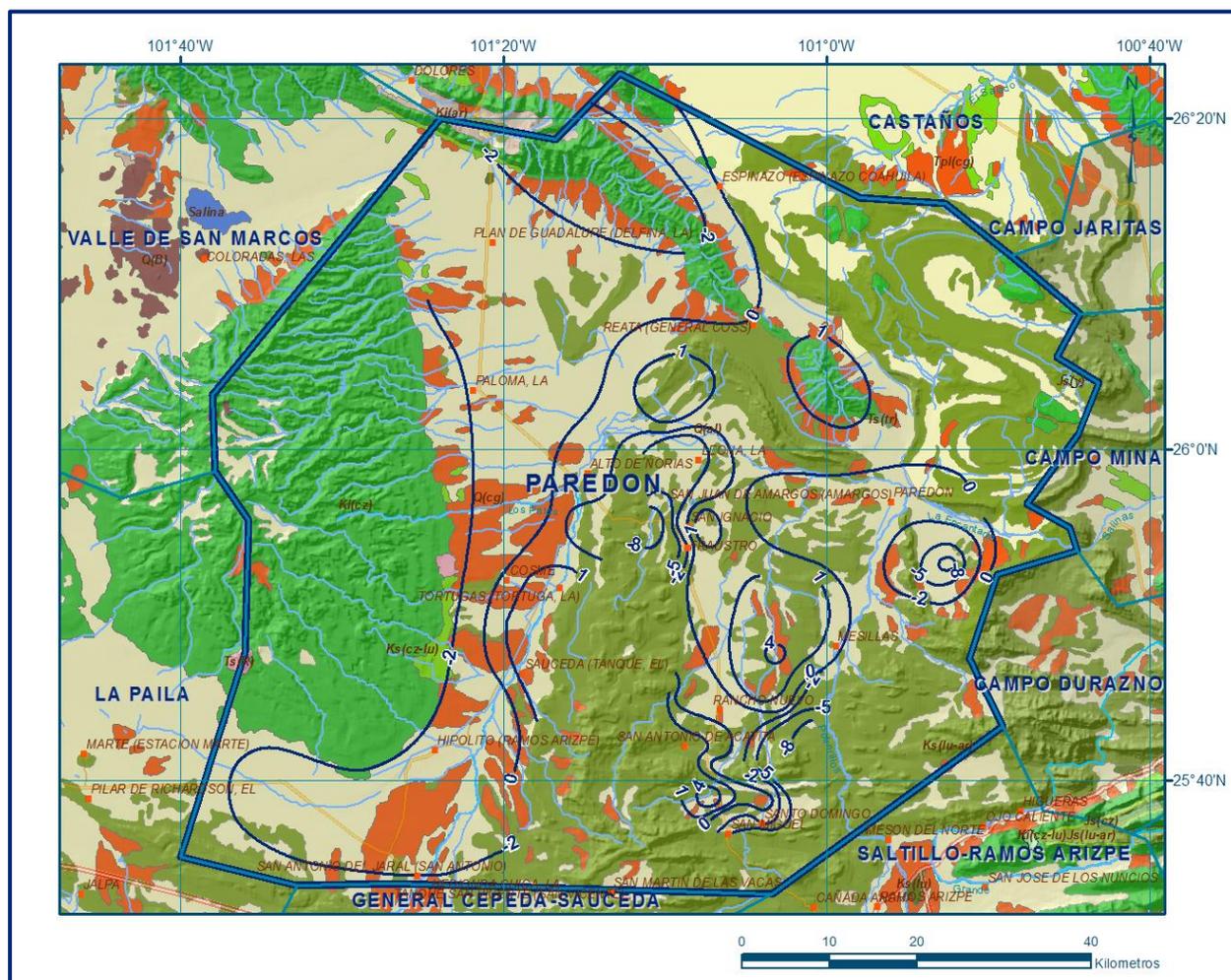


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2006-2014)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2014 se obtuvieron 10 muestras de agua subterránea de pozos distribuidos en el valle; adicionalmente, durante el estudio realizado en 2006, se tomaron 14 muestras de agua subterránea en aprovechamientos. De las 24 muestras, 19 corresponden a pozos, 2 norias y 3 manantiales, distribuidos en toda la zona de explotación, que se utilizaron para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros de temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, alcalinidad, iones principales y sólidos totales disueltos.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) varían de 540 a 3900 mg/l, la mayoría de ellas superan el límite máximo permisible de 1000 mg/l establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022.

De acuerdo con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasifica como agua dulce a salobre, ya que los valores máximos de conductividad eléctrica de algunas muestras superan el valor de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y presentan valores extremos de 558 a 6250 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores más bajos de STD y conductividad eléctrica se registran al sur del acuífero y se incrementan en dirección general hacia el norte y este, confirmando con ello las direcciones preferenciales del flujo subterráneo.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que predominan tres familias del agua: sulfatada-cálcica y clorurada-cálcica; en menor proporción se presenta la familia bicarbonatada-cálcica. Las primeras reflejan procesos 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, así como a la concentración de sales por evaporación en las subcuencas endorreicas, que es 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 presenta en las zonas de recarga al acuífero, ubicadas hacia las sierras que bordean el valle y representa agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia, que ha circulado a través de rocas calcáreas.

Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS). El mayor número de muestras analizadas se clasifican como C₂-S₄, que representa agua de salinidad media con muy alto contenido de sodio intercambiable; en menor proporción se presenta agua de tipo; y C₃-S₂, que corresponde a salinidad alta y contenido medio de sodio intercambiable y C₃-S₁ que representa agua de salinidad alta y bajo contenido de sodio intercambiable.

De manera general, el agua se puede utilizar para la agricultura sólo en suelos con buen drenaje, con lavados periódicos y en cultivos tolerantes a la salinidad.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2014, se registró la existencia de 415 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 387 son pozos, 23 norias y 5 manantiales; del total de aprovechamientos, 262 se encuentran activos y 153 se encuentran inactivos (148 pozos, 4 norias y 1 manantial). De los 262 aprovechamientos activos, 147 son para uso agrícola, 12 para uso público-urbano, 74 para uso doméstico-pecuario y los 29 restantes para otros usos.

El volumen de extracción por bombeo asciende a **30.2 hm³/año**, de los cuales 21.2 hm³/año (70.2%) son para uso agrícola, 5.4 hm³/año (17.9%) al uso doméstico-pecuario, 2.4 hm³/año (7.9%) para uso público-urbano y 1.2 hm³/año (4.0%) para otros usos.

Adicionalmente, a través de los 5 **manantiales** se descarga un volumen de 7 lps, que equivalen a **0.2 hm³ anuales**, destinados principalmente para usos doméstico-pecuario y agrícola.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2006-2014, en una superficie de **2,750 km²**, que corresponde a la zona del valle donde se cuenta con información piezométrica en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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 en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa es la siguiente:

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas están representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento del acuífero:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri). Para este caso, debido a que el volumen destinado al uso público-urbano es pequeño, sólo se considera la recarga debido a los retornos de riego agrícola (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 ($\Delta V(S)$), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

$$R_v + E_h + R_r - S_h - B - D_m = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

R_v:	Recarga vertical
E_h:	Entradas por flujo subterráneo horizontal
R_r:	Recarga Incidental por retornos de riego
S_h:	Salidas por flujo subterráneo horizontal
B:	Bombeo
D_m:	Descarga a través de manantiales
$\Delta V(S)$:	Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

La recarga del acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre las zonas topográficamente más altas del área de estudio y por la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El agua se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2014, mostrada en la figura 5. Con base en ella se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal "Q" en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

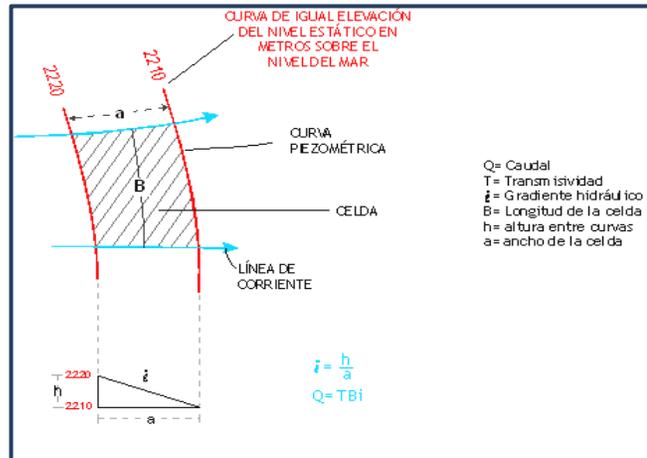
Donde:

Q= Caudal;

B= Largo del canal de flujo;

i= Gradiente hidráulico (i);

T= Transmisividad en el canal de flujo;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda.

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **9.9 hm³/año**.

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de bombeo realizadas en 2014 y en estudios previos, es este acuífero y otros colindantes, que tienen el mismo origen, evolución y constitución geológica, adaptados al espesor saturado de las distintas zonas.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2014)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	12815	3795	35	0.0092	0.0003	0.0355	1.1
E2	15245	3515	35	0.0100	0.0003	0.0455	1.4
E3	19180	3300	35	0.0106	0.0003	0.0610	1.9
E4	18410	3610	35	0.0097	0.0003	0.0535	1.7
E5	7590	5930	35	0.0059	0.0003	0.0134	0.4
E6	3920	3530	35	0.0099	0.0003	0.0117	0.4
E7	6610	2145	35	0.0163	0.0001	0.0108	0.3
E8	11050	2620	35	0.0134	0.0001	0.0148	0.5
E9	3290	2960	35	0.0118	0.0001	0.0039	0.1
E10	3250	2450	35	0.0143	0.0006	0.0279	0.9
E11	2590	4005	35	0.0087	0.0001	0.0023	0.1
E12	5145	1815	40	0.0220	0.0003	0.0340	1.1
Total entradas						9.9	

7.1.3 Recarga incidental por 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, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático.

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. Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo, se consideró que un 5% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga efectiva, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea mayor a 20 m en las zonas agrícolas y la presencia de estratos de permeabilidad baja en el subsuelo, principalmente de las lutitas de la Formación Parras. De esta manera, considerando que para el uso agrícola se utilizan 21.2 hm³ anuales y que un 5% de éste recarga de manera efectiva al acuífero, se obtiene una recarga incidental por los retornos del riego agrícola de 1.1 hm³ anuales. **Rr = 1.1 hm³ anuales.**

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y descarga a través de manantiales (Dm).

7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, tal como se muestra en la tabla 3. El volumen total estimado de salidas por flujo subterráneo asciende a **3.1 hm³/año.**

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2014)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	10985	2890	20	0.0069	0.0005	0.0380	1.2
S2	7885	6360	35	0.0055	0.0014	0.0607	1.9
Total salidas							3.1

7.2.2 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **30.2 hm³ anuales.**

7.2.3 Descarga a través de manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en 2014, se identificó la existencia de 5 pequeños manantiales, que en conjunto descargan 7 lps, es decir un volumen estimado de **0.2 hm³ anuales.**

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2006-2014 (figura 6).

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.003 para los sedimentos aluviales que predominan en los valles, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado

S = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance

A = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km^2)

h = Valor de la variación piezométrica en el período (m)

De esta manera, tomando en cuenta el área de balance de 2750 km^2 , en la que el abatimiento promedio anual es de 0.12 m anuales, y un rendimiento específico de 0.03, se obtiene un cambio de almacenamiento de -9.9 hm^3 anuales.

Por lo tanto, $\Delta V(S) = -9.9 \text{ hm}^3$ anuales

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

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

$$R_v = 30.2 + 3.1 + 0.2 - 9.9 - 9.9 - 1.1$$

$$R_v = 12.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de todas las entradas:

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 12.6 + 9.9 + 1.1$$

$$R = 23.6 \text{ hm}^3 \text{ anual}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar 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:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL MEDIA} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{ANUAL} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & & & & & \end{array}$$

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
- R** = Recarga total media anual
- DNC** = Descarga natural comprometida
- VEAS** = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como incidental.

Para este caso, su valor es de **23.6 hm³/año**, que corresponden a la recarga natural y recarga incidental.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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.

Para el caso del acuífero Paredón su valor corresponden a la salida subterránea hacia el acuífero Campo Mina en el estado de Nuevo León, y a la descarga a través de manantiales. Por lo tanto **DNC= 3.3 hm³ anuales**.

8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **59,333,049 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 23.6 - 3.3 - 59.333049 \\ \text{DMA} &= -39.033049 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **39,033,049 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. Estudio Geohidrológico del Acuífero Paredón (0508), en el estado de Coahuila. Realizado por SANX, Ingeniería Integral y Desarrollo S.A de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Estudio Geohidrológico Preliminar en la Zona de Paredón, Coahuila. Realizado por Ingeniería Integral, S.A. de C.V. (ININSA.)