

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PRINCIPAL-REGIÓN LAGUNERA
(0523), ESTADO DE COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE DE 2020

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. GENERALIDADES..... | 2 |
| Antecedentes..... | 2 |
| 1.1. Localización..... | 2 |
| 1.2. Situación Administrativa del Acuífero..... | 5 |
| 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD..... | 6 |
| 3. FISIOGRAFÍA..... | 8 |
| 3.1. Provincia fisiográfica | 8 |
| 3.2. Clima | 9 |
| 3.3. Hidrografía..... | 10 |
| 3.4. Geomorfología | 11 |
| 4. GEOLOGÍA..... | 12 |
| 4.1. Estratigrafía..... | 14 |
| 4.2. Geología Estructural..... | 24 |
| 4.3. Geología del Subsuelo..... | 26 |
| 5. HIDROGEOLOGÍA..... | 29 |
| 5.1. Tipo de acuífero | 29 |
| 5.2. Parámetros hidráulicos | 29 |
| 5.3. Piezometría | 30 |
| 5.4. Comportamiento hidráulico | 30 |
| 5.4.1. Profundidad al nivel estático..... | 30 |
| 5.4.2. Elevación del nivel estático | 31 |
| 5.4.3. Evolución del nivel estático..... | 32 |
| 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea | 33 |
| 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA..... | 35 |
| 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS..... | 35 |
| 7.1. Entradas..... | 36 |
| 7.1.1. Recarga vertical (Rv)..... | 36 |
| 7.1.2. Entradas subterráneas horizontales (Eh) | 37 |
| 7.1.3. Recarga inducida (Ri)..... | 39 |
| 7.2. Salidas..... | 39 |
| 7.2.1. Bombeo (B) | 40 |
| 7.3. Cambio de Almacenamiento $\Delta V(S)$ | 40 |
| 8. DISPONIBILIDAD..... | 41 |
| 8.1. Recarga total media anual (R)..... | 41 |
| 8.2. Descarga natural comprometida (DNC) | 41 |
| 8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) | 42 |
| 8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA) | 42 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 43 |

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 Principal-Región Lagunera, definido con la clave 0523 en el Sistema de Información Geográfica Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en el extremo suroccidental del estado de Coahuila, en el límite con el estado de Durango, entre los paralelos 25°00' y 26°45' de latitud norte y entre los meridianos 102°15' y 103°50' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 12,617 km².

Limita al norte con los acuíferos Acatita y Las Delicias; al este con La Paila, pertenecientes al estado de Coahuila; al sureste con Saltillo Sur y Cedros, del estado de Coahuila y Zacatecas, respectivamente; al sur con Oriente Aguanaval; al suroeste con Villa Juárez;

al oeste con Vicente Suárez y al noroeste con el acuífero Ceballos; que pertenecen al estado de Durango (figura 1).

Geopolíticamente, comprende la superficie total de los municipios de Matamoros, Coahuila y Gómez Palacio, Durango; la mayor parte de San Pedro y Viesca; parcialmente Torreón, Francisco I. Madero y Tlahualilo, del estado de Coahuila, porciones menores de los municipios Lerdo y Mapimí, del estado de Durango, y Sierra Mojada del estado de Coahuila.



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

| ACUIFERO 0523 PRINCIPAL-REGION LAGUNERA | | | | | | | |
|---|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|--------------------------------------|
| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBSERVACIONES |
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 103 | 17 | 56.2 | 26 | 26 | 56.5 | |
| 2 | 103 | 14 | 14.7 | 26 | 20 | 53.4 | |
| 3 | 103 | 14 | 58.8 | 26 | 17 | 56.8 | |
| 4 | 103 | 16 | 22.6 | 26 | 14 | 59.9 | |
| 5 | 103 | 10 | 30.7 | 26 | 14 | 20.9 | |
| 6 | 103 | 3 | 20.3 | 26 | 12 | 27.2 | |
| 7 | 103 | 0 | 1.1 | 26 | 15 | 1.4 | |
| 8 | 102 | 57 | 41.1 | 26 | 20 | 27.9 | |
| 9 | 102 | 56 | 34.3 | 26 | 14 | 48.5 | |
| 10 | 102 | 50 | 11.3 | 26 | 9 | 51.8 | |
| 11 | 102 | 49 | 41.1 | 26 | 7 | 32.1 | |
| 12 | 102 | 48 | 17.0 | 26 | 7 | 56.3 | |
| 13 | 102 | 44 | 44.1 | 26 | 4 | 52.9 | |
| 14 | 102 | 41 | 16.6 | 26 | 4 | 38.1 | |
| 15 | 102 | 34 | 48.3 | 26 | 3 | 1.1 | |
| 16 | 102 | 30 | 36.2 | 26 | 0 | 37.1 | |
| 17 | 102 | 28 | 0.9 | 26 | 2 | 16.7 | |
| 18 | 102 | 15 | 17.7 | 26 | 0 | 12.4 | |
| 19 | 102 | 15 | 36.4 | 25 | 59 | 47.0 | DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE MUNICIPAL |
| 20 | 102 | 53 | 55.9 | 25 | 34 | 22.5 | DEL 20 AL 21 POR EL LIMITE |
| 21 | 102 | 27 | 30.8 | 25 | 6 | 58.0 | DEL 21 AL 22 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 22 | 102 | 39 | 51.6 | 25 | 3 | 51.1 | DEL 22 AL 23 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 23 | 102 | 40 | 19.7 | 25 | 4 | 35.5 | |
| 24 | 102 | 42 | 42.9 | 25 | 6 | 5.7 | |
| 25 | 102 | 43 | 59.7 | 25 | 10 | 24.5 | |
| 26 | 102 | 52 | 27.1 | 25 | 8 | 35.3 | |
| 27 | 103 | 2 | 3.3 | 25 | 9 | 42.1 | |
| 28 | 103 | 7 | 34.9 | 25 | 12 | 52.1 | |
| 29 | 103 | 13 | 4.4 | 25 | 8 | 27.3 | |
| 30 | 103 | 17 | 3.0 | 25 | 10 | 46.7 | |
| 31 | 103 | 19 | 0.2 | 25 | 10 | 0.2 | |
| 32 | 103 | 22 | 36.5 | 25 | 15 | 35.8 | |
| 33 | 103 | 20 | 14.8 | 25 | 22 | 15.8 | DEL 33 AL 34 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 34 | 103 | 28 | 38.0 | 25 | 30 | 59.6 | |
| 35 | 103 | 28 | 47.6 | 25 | 27 | 0.1 | |
| 36 | 103 | 30 | 0.2 | 25 | 28 | 16.3 | |
| 37 | 103 | 32 | 24.0 | 25 | 31 | 15.8 | |
| 38 | 103 | 36 | 33.7 | 25 | 33 | 10.8 | |
| 39 | 103 | 37 | 50.0 | 25 | 35 | 49.6 | |
| 40 | 103 | 41 | 53.4 | 25 | 41 | 3.1 | |
| 41 | 103 | 41 | 37.9 | 25 | 44 | 57.1 | |
| 42 | 103 | 44 | 22.9 | 25 | 44 | 39.6 | |
| 43 | 103 | 44 | 32.2 | 25 | 42 | 50.3 | |
| 44 | 103 | 46 | 21.5 | 25 | 42 | 53.4 | |
| 45 | 103 | 46 | 48.5 | 25 | 45 | 49.3 | |
| 46 | 103 | 49 | 7.3 | 25 | 47 | 55.5 | |
| 47 | 103 | 47 | 8.4 | 25 | 51 | 4.7 | |
| 48 | 103 | 47 | 18.9 | 25 | 53 | 19.2 | |
| 49 | 103 | 43 | 41.6 | 26 | 0 | 25.3 | |
| 50 | 103 | 35 | 42.8 | 26 | 3 | 51.4 | |
| 51 | 103 | 30 | 50.2 | 26 | 16 | 42.8 | |
| 52 | 103 | 31 | 10.1 | 26 | 20 | 28.9 | |
| 53 | 103 | 30 | 36.9 | 26 | 28 | 41.0 | |
| 54 | 103 | 32 | 48.9 | 26 | 30 | 42.6 | |
| 55 | 103 | 32 | 31.0 | 26 | 39 | 0.0 | |
| 56 | 103 | 32 | 32.0 | 26 | 42 | 54.4 | |
| 57 | 103 | 29 | 9.8 | 26 | 42 | 22.7 | |
| 58 | 103 | 29 | 4.4 | 26 | 44 | 12.5 | |
| 59 | 103 | 27 | 7.3 | 26 | 44 | 40.8 | |
| 60 | 103 | 22 | 33.2 | 26 | 40 | 40.2 | |
| 61 | 103 | 18 | 39.4 | 26 | 32 | 33.7 | |
| 1 | 103 | 17 | 56.2 | 26 | 26 | 56.5 | |

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Principal-Región Lagunera pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte” y al Consejo de Cuenca Nazas-Aguanaval”, instalado el 1º de diciembre de 1998. Casi la totalidad de su territorio se encuentra vedado y sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda para la extracción de agua subterránea. En la mayor parte de las porciones centro, norte y occidental rige el *“Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de diciembre de 1958. Este decreto establece veda tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos. En la porción oriental, sur y suroriental está vigente el *“Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera”*, publicado en el DOF el 17 de abril de 1965; esta veda es de tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Solo en el extremo noroccidental, en la zona de confluencia de los municipios Francisco I. Madero, Tlahualilo y Sierra Mojada, no rige ningún decreto para la extracción del agua subterránea. Sin embargo, esta porción no vedada se encuentra sujeta a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 18 acuíferos que se indican”*, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, se prohíbe 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, y el incremento de volúmenes autorizados o registrados, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

El principal usuario del agua subterránea es el agrícola, en su territorio se localiza la mayor parte de Distrito de Riego 017 “Región Lagunera”; los usuarios se encuentran organizados y constituidos en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Principal de la Comarca Lagunera, A.C., instalado el 5 de septiembre de 2000. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios geológicos, geofísicos, hidrogeológicos de evaluación, hidrogeoquímicos e isotópicos con diferentes objetivos. A continuación se mencionan los resultados y conclusiones de los estudios más recientes e importantes para este documento.

ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO E ISOTÓPICO DEL ACUIFERO GRANULAR DE LA COMARCA LAGUNERA. Realizado en 1990 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Nacional del Agua. Tuvo como objetivos determinar el origen y evolución del arsénico en el acuífero granular, estimar la vulnerabilidad de las zonas de reserva exclusiva para agua potable, generar una base de datos de calidad para desarrollar modelos matemáticos y actualizar el conocimiento hidrogeoquímico. Concluye que el agua con arsénico está asociada con los procesos volcánicos y magmáticos y de acuerdo con los resultados isotópicos de ^{14}C se determina un tiempo muy grande de residencia del agua en el subsuelo.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA COMARCA LAGUNERA, COAHUILA-DURANGO. Realizado en 1992 por grupo Profesional de Planeación y Proyectos, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. Entre sus actividades de recopilación y de campo más importantes destacan la nivelación de brocales, la ejecución de pruebas de bombeo, muestreo de suelos, sedimentos y agua para la determinación de la presencia de arsénico, estratigrafía y sedimentología de las fases del subsuelo, identificación de hundimientos diferenciales del terreno, discretización de la geometría del subsuelo, instalación de medidores automatizados del nivel estático, análisis de la demanda, cobertura futura de agua y análisis de opciones de intercambio de agua entre los sectores usuarios. Concluye que el relleno aluvial tiene un espesor de 600 a 700 m, conformado por diferentes unidades hidroestratigráficas, que funcionan como acuíferos y acuitardos, en el que las principales zonas productoras corresponden a los ejes de los principales depocentros de facies de canal, que constituyen los conductos preferenciales para la migración del agua y de los contaminantes. Así mismo, establece que la presencia del arsénico en el agua subterránea se explica por la presencia de aguas muy antiguas que han interactuado con rocas volcánicas e intrusivas con altas temperaturas, que por fracturas y fallas han llegado a niveles superiores; confirmando lo establecido por estudios isotópicos realizados por el IMTA en 1990.

ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO DE LA COMARCA LAGUNERA, COAH. Y DGO. Realizado en 1999 por Ariel Consultores, S.A. para la Comisión Nacional del Agua. Su objetivo principal fue elaborar un modelo de flujo hidrodinámico que permitiera conocer las condiciones y efectos de las variables hidrológicas y del balance de aguas subterráneas, tales como volumen de extracción,

recarga natural e incidental, etc., sobre el comportamiento del acuífero y simular diferentes escenarios de extracción del acuífero, para conocer el comportamiento de los abatimientos y con ello proponer el más adecuado para lograr el adecuado manejo del recurso. Propone también el diseño de una de óptima para la monitoreo de los niveles del agua subterránea. Concluye que manteniendo o variando en un 10% el volumen de extracción (incremento o descenso) se provocan abatimientos del nivel estático de 1 m/año. La red de monitoreo propuesta quedó conformada por 540 pozos.

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA DEL ACUÍFERO DE LA COMARCA LAGUERA, COAHUILA. Realizado en el año 2000 por Servicios de Ingeniería Civil y Geología S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua. Su objetivo fue conocer el estado de la contaminación difusa del agua subterránea atribuible a la actividad agrícola, pecuaria e industrial, identificar sus fuentes para diferenciarla de la contaminación natural por arsénico y otros metales pesados. Concluye que los componentes biológicos detectados en las inmediaciones de Torreón, comprueban la influencia de las aguas negras y que las actividades agrícolas contaminan el agua con residuos de los fertilizantes, concentrada por efecto de la evaporación. De las 60 muestras de agua subterránea, 33 presentaron concentraciones de arsénico por arriba del límite máximo permisible que establece la normatividad mexicana. Las evidencias geoquímicas sugieren que la movilización del arsénico adsorbido en las superficies de hidróxidos de Fe y Mn probablemente se lleve a cabo por reducción de los hidróxidos en presencia de materia orgánica y por desorción de arsénico en condiciones de pH mayor de 7-7.5 a partir de la superficie de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO DEL ACUÍFERO PILOTO PRINCIPAL-REGIÓN LAGUNERA, COAH-DGO. Realizado en 2002 por MORO Ingeniería, S.C. para la Comisión Nacional del Agua. Este trabajo tuvo como objetivo realizar el diagnóstico de las condiciones de operación de los aprovechamientos y su eficiencia en el uso del agua subterránea, así como actualizar el censo de aprovechamientos para cuantificar la extracción por bombeo y compararla con los volúmenes concesionados. Para ello hace una revisión del uso del agua por sector, el análisis económico de su eficiencia, plantea las acciones de mejora y las inversiones que permitirán lograr una reducción en el uso del agua, sin afectar la productividad. El censo registró 2,350 pozos, la mayor parte de ellos para uso agrícola, que en total extraen un volumen de 1,088.5 hm³ anuales, de los cuales 884 hm³ (81%) son utilizados para las actividades agrícolas.

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO PRINCIPAL-REGIÓN LAGUNERA. Elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua en 2002. Presenta las características geohidrológicas generales del acuífero y plantea un balance de agua subterránea mediante el cual obtiene una recarga total de 518.9 hm³/año, integrada por infiltración por lluvia y a lo largo de los escurrimientos, entradas subterráneas y recarga incidental por los retornos del riego agrícola y por infiltración de las fugas en la red de agua potable y alcantarillado. La descarga total estimada es de 1,221.8 hm³/año que corresponden a la extracción por bombeo; por lo que el cambio de almacenamiento era de -702.9 hm³ anuales. Con el volumen concesionado inscrito en el REPDA al 30 de abril de 2002, que era de 701.8 hm³/año, y sin descargas naturales comprometidas, se obtiene un déficit de agua subterránea de 182.9 hm³/año. La actualización de la disponibilidad, publicada en el DOF el 20 de abril de 2015, con fecha de corte del REPDA al 30 de junio de 2014, considera un volumen concesionado de 642.5 hm³ y determina un déficit de 123.6 hm³ anuales.

INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA E HIDRÓMÉTRICA DEL ACUÍFERO PRINCIPAL-REGIÓN LAGUNERA, DURANGO. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, 2015. Contiene información piezométrica histórica y actualizada.

La información piezométrica y su actualización al año 2015, fueron la base para la elaboración de las configuraciones del nivel estático, que sirvieron para actualizar el balance de aguas subterráneas.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la confluencia de dos Provincias Fisiográficas: la mayor parte de él, que comprende las porciones centro, este y oeste, se localiza en la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras del Norte; las regiones norte y sur pertenecen a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental. De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincias Bolsón de Mapimí y Laguna de Mayrán; y en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, Subprovincias Sierra La Paila y Sierras Transversales.

La Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte se caracteriza por presentar alternancia de llanuras y lomeríos compuestos por rocas sedimentarias y volcánicas del Terciario débilmente plegadas, que muestran un relieve suave. Las rocas,

principalmente lutitas y areniscas, están afectadas por fallas normales y fracturas, mostrando una orientación noreste-suroeste y noroeste-sureste. La Subprovincia Bolsón de Mapimí está constituida por extensas llanuras aluviales o salinas, con lomeríos ramificados, sierras plegadas y campos de dunas. En las llanuras dominan suelos profundos de origen aluvial o lacustre, de textura media o fina. La Subprovincia Laguna de Mayrán comprende los municipios de Viesca, Matamoros y San Pedro de las Colonias.

La Sierra Madre Oriental está orientada en sentido norte-sur y noroeste-sureste, que muestra una flexión con orientación este-oeste entre Monterrey y Torreón. Representa un conjunto de sierras en las que afloran secuencias mesozoicas plegadas de rocas sedimentarias marinas del Cretácico y Jurásico Superior, entre las que predominan las calizas, areniscas y secuencias arcillosas. El plegamiento se manifiesta de múltiples maneras, pero su forma más notable es la que produce topografías onduladas y paralelas, en donde las partes topográficamente más altas, corresponden con anticlinales y las zonas bajas a sinclinales, cuando las formaciones son resistentes a la erosión. La flexión de las rocas en las crestas de los pliegues ocasionó extensión con el correspondiente fracturamiento, haciéndolas más susceptibles a los procesos erosivos. Cuando las estructuras mayores se encuentran erosionadas en sus núcleos sólo quedan flancos residuales de los anticlinales, con un valle al centro, denominadas "potreros". La Subprovincia Sierras Transversales está conformada de sierras orientadas en forma paralela a los cuerpos centrales de la Sierra Madre Oriental, separadas unas de otras por llanuras más o menos amplias. La porción norte de la subprovincia es la que se ubica en el estado de Coahuila. La Subprovincia Sierra La Paila está constituida por un conjunto de sierras y bolsones amplios, que presentan de drenaje interno, en la que las calizas dominan en las sierras y en menor medida rocas volcánicas. En sus partes bajas, conforma llanuras y pequeños lomeríos.

3.2. Clima

De acuerdo con los criterios de la clasificación de Köppen, modificados por E. García para las condiciones de México, se establece que en la superficie cubierta por el acuífero predomina el tipo de clima BWhw, que se clasifica como seco a desértico, semicálido con invierno seco, muy extremo. La temperatura media varía entre 18 y 22 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C y del mes más cálido mayor a 22 °C, con régimen de lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total. En las sierras de mayor altura, Parras, El Rosario y Álamos, el clima es BS₁K semisecco templado; en tanto que en las sierras bajas de Jimulco, Mapimí, EL Sarnoso, El Mármol y extremo oeste de la Sierra de Parras, domina el clima de tipo BS₀K, es decir, seco templado; con una temperatura media anual que varía entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, y la del mes más cálido mayor a 18 °C, con régimen de lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 19 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Ahuichila, Coyote, Cuije, Guadalupe, La Flor, San Pedro, Viesca, Emiliano Zapata, Francisco I. Madero, El Sol, C. Fernández, 5 de Mayo, Lerdo, Mapimí, Yermo, Nazas, San Pedro El Gallo, Tlahualilo y San Luis del Cordero, cuyo registro comprende el periodo 1979-2013. Con estos datos y utilizando el método de los polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **260 mm, 19.0 °C y 2500 mm**, respectivamente.

3.3. Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 36 “Nazas-Aguanaval”, Subregión Hidrológica “Río Nazas”, cuencas “Río Nazas-Torreón”, “Laguna de Mayrán y Viesca” y Río Aguanaval”; subcuencas “Río Nazas-C. Santa Rosa”, “Laguna de Mayrán”, “Laguna del Rey” y “Río Aguanaval-Nazareno”. Regionalmente, los ríos más importantes son el Nazas, el cual nace en el estado de Durango, y Aguanaval que se origina en el estado de Zacatecas, hacia los cuales confluye la mayoría de los escurrimientos superficiales. El acuífero Principal-Región Lagunera se encuentra ubicado en la cuenca baja de ambos ríos.

El río Nazas descarga sus aguas en la Presa Lázaro Cárdenas; se forma por la confluencia de los ríos Ramos y Sextín; en esta área se construyó la Presa Francisco Zarco (Las Tórtolas o El Palmito) a la altura de la población El Palmito, ubicada al suroeste del acuífero, en el límite con Pedriceña-Velardeña. Posteriormente, en su curso hacia su cuenca baja, se le unen los arroyos San Juan, Peñón y Cuencamé por su margen derecha, cambiando de rumbo hacia la antigua Laguna, hoy Desierto de Mayrán, pasando por las ciudades de Lerdo, Gómez Palacio, estado de Durango y Torreón, estado de Coahuila. En el trayecto entre la presa Francisco Zarco y la ciudad de Torreón, se observa una condición hidrográfica particular, en la que destacan hacia la margen izquierda afluentes cortos de cuenca reducida y poca contribución; en contraste con los afluentes de la margen derecha, de mayor extensión en cuencas de mayor magnitud y aportaciones de escurrimientos superficiales más significativos.

El río Aguanaval se origina al poniente de la ciudad de Zacatecas con la unión de los ríos Saín Alto y Trujillo, escurre en dirección general sur-norte, pasando por los poblados de Río Grande y San Francisco, Zacatecas; más al norte representa el límite estatal entre Durango y Coahuila, para posteriormente llegar hasta la zona de la Laguna de Viesca, en Coahuila, donde finaliza su recorrido. Sus afluentes más importantes son los ríos Santa Clara, San Francisco, Zaragoza, Tetillas, Calabacillas y Santa Clara, todos ellos en el estado

de Zacatecas. Hacia el norte de la Ciudad de Fresnillo, Zac, existe la presa Cazadero, único aprovechamiento de agua superficial.

3.4. Geomorfología

Con base en la información de las formas y características del releve, se identificaron 5 unidades geomorfológicas que son valles, depresiones, lomeríos, mesetas y sierras. La zona en la que se aloja el acuífero tiene una altitud promedio entre 1,050 y 1,100 msnm y está limitado al oriente por las sierras de Parras y La Candelaria; tiene conexión con los acuíferos de las lagunas de Mayrán y Viesca. Su límite oeste corresponde con el conjunto de sierras Las Noas y El Sarnoso; al norte está limitada por las sierras Delicias, Tlahualilo y La Campana; en tanto que al sur la cuenca se cierra por la presencia de las sierras Jimulco y Pozo de Calvo. De acuerdo con las características geomorfológicas tales como topografía, pendientes, litología y drenaje, se definieron tres unidades hidrogeomorfológicas, que a su vez están asociadas a las geoformas del área.

Unidad hidrogeomorfológica I. Domina la mayor parte de la zona y está constituida por valles, lomeríos y depresiones que presentan pendientes bajas, donde las corrientes superficiales prácticamente están ausentes, por lo que representan zonas de infiltración del agua y de recarga al acuífero. Las pendientes de baja densidad así como la ausencia de drenaje, son parámetros que indican que el mayor porcentaje de agua que sobre ellas escurre se infiltra al acuífero, a través de los materiales granulares, fracturas y diaclasas que los caracterizan.

Unidad hidrogeomorfológica II. También llamada de mesetas, se distribuye principalmente en la porción norte de la zona y en menor importancia al poniente de la sierra El Rosario. Se caracteriza por presentar zonas variables en cuanto a propiedades de infiltración; es decir, la cima de los elementos geomorfológicos muestran infiltración sobre todo en las zonas de alto fracturamiento, donde las pendientes son menores de un 1%; sin embargo, las características petrofísicas de la roca (material pelítico), puede disminuir su capacidad de infiltración o ser alta en los casos en que se combine la presencia de calizas, materiales granulares producto de la erosión de rocas preexistentes y fracturamiento. Por el contrario, los bordes de las mesetas muestran alta densidad de drenaje, por lo que el grado de infiltración se considera bajo. Lo anterior, aunado a que los materiales que conforman estos elementos son rocas muy consolidadas, provoca que en el subsuelo funcionen como barreras tanto laterales como verticales del acuífero; sin embargo, el desarrollo de fracturas y estructuras de disolución sobre las laderas, aumenta la capacidad de infiltración

Unidad Hidrogeomorfológica III. Está representada por las zonas de pendientes abruptas (20° o mayores), que corresponden a las sierras en las que se presenta un mayor

porcentaje de escurrimiento en comparación con la infiltración; esto se manifiesta por la alta densidad de drenaje en comparación con las restantes geoformas, y en los casos en que las rocas son muy compactas, funcionan como barreras laterales y basamento del acuífero; la presencia de calizas y fracturas son factores que favorecen la infiltración.

El área presenta rasgos de madurez geomorfológica, la cual es más avanzada hacia las ciudades de Lerdo y Gómez Palacio, en donde se caracteriza por mostrar un relieve más suave y lomeríos aislados, y los ríos Nazas y Aguanaval presentan cauces más amplios y meandros.

4. GEOLOGÍA

La superficie cubierta por el acuífero se encuentra en el límite entre dos importantes provincias geológicas de la República Mexicana, la Sierra Madre Oriental y la Cuenca de Parras. La mayor parte se ubica en la provincia Sierra Madre Oriental que forma parte del Geosinclinal Mexicano que cruza la República Mexicana de norte a sur. Este geosinclinal se caracteriza por la presencia de numerosos plegamientos anclinales y sinclinales de rocas sedimentarias, que presentan una orientación general de sus ejes NW-SE. Esta serie de capas sedimentarias presentan una litología que varía desde rocas calcáreas hasta areniscas y conglomerados, así como lutitas de diferentes secuencias. Las formaciones plegadas han sufrido fuerte erosión, formando una serie de valles profundos, tanto a lo largo de sus ejes estructurales como transversales, cortando estas estructuras con profundidades máximas de 210 m. Los valles erosionados se rellenaron posteriormente con depósitos aluviales de diferentes secuencias que actualmente constituyen el acuífero más importante de la región. Por su parte la Cuenca de Parras es una depresión topográfica que se extiende a través de Coahuila, desde Saltillo hasta Torreón, a lo largo de una longitud de 260 km y ancho de 50 km, que se hace más angosta hacia el este.

La base de la columna sedimentaria del área, está conformada por una secuencia vulcano-sedimentaria (Formación Nazas), depositada durante el Triásico-Jurásico Medio. Esta sedimentación vulcanogénica tiende a cambiar en el Jurásico Tardío, tiempo en el inició el gran ciclo de sedimentación marginal marino, que perduró durante el resto del Mesozoico y cuya distribución y facies estuvo controlada por el paleoelemento denominado isla o plataforma de Coahuila, durante el Jurásico y el Cretácico. Durante el Jurásico Tardío se acumularon grandes volúmenes de sedimentos clásticos hacia las márgenes de este paleoelemento con él depósito de las formaciones La Gloria y La Casita, sedimentación que se extendió hasta el Berriasiano-Valanginiano Temprano (Formación Carbonera); sin embargo, se manifiesta de manera simultánea una

sedimentación marina (formaciones Zuloaga, La Caja y Taraises) al poniente y sur de la franja litoral, definiendo ya un marcado avance de la transgresión marina.

Durante el Barremiano-Aptiano Temprano el patrón de sedimentación se torna netamente carbonatado, ocurriendo sobre una extensa plataforma (Formación Cupido), la cual en la porción meridional del área tiene bien definido su borde, es en donde a partir de esta zona de talud, los sedimentos típicos de plataforma carbonatada, cambian a facies marinas de características batimétricas más profundas (Formación Tamaulipas Inferior). Simultáneamente en el Aptiano Temprano en el sector suroccidental del área, se depositó una secuencia típica de cuenca marginal (Grupo Mezcalera) cuya sedimentación se extendió en esta región hasta el Turoniano. En el Aptiano Tardío se interrumpe la sedimentación de los potentes cuerpos tabulares de carbonatos, acumulándose en su lugar una secuencia delgada de composición calcáreo-arcillosa (Formación La Peña), asociada a la inestabilidad tectónica que existía en la porción occidental del área.

En el Albiano Temprano se desarrollan cuerpos de carbonatos en facies de plataforma abierta, ya sea sobre la Plataforma de Coahuila (Formación Paila), como en zonas distantes a este paleoelemento (Formación Tamaulipas Superior). Durante el Albiano Medio se configura un borde en el límite entre la plataforma somera y la zona de aguas más profundas, desarrollándose en esta franja cuerpos arrecifales (Formación Viesca), dando así lugar a una sedimentación hacia el interior de la plataforma, de carbonatos en facies de plataforma semi-restringida (Formación Acatita), conformando una columna sedimentaria típica de plataforma; mientras tanto en la zona de plataforma abierta y de cuenca se depositan simultáneamente los sedimentos de las formaciones Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura, que conforman las unidades de cuenca.

Este patrón de sedimentación carbonatada que se desarrolló durante el Cretácico Medio, se interrumpió en el Cretácico Tardío (Turoniano a Maestrichtiano), debido a los efectos orogénicos iniciales provenientes del occidente, que provocaron la acumulación de sedimentos arcillo-calcáreos, arcillosos y clástico-carbonatados (formaciones Indidura y Caracol), típicos de las facies pre-flysch y flysch respectivamente, depositados sobre los grandes volúmenes de carbonatos de plataforma y cuenca. Posterior al evento orogénico compresivo Laramídico, se manifestó una sedimentación de tipo "Molasse" (Formación Ahuichila), así como períodos de magmatismo calco-alcalino, manifestados por rocas extrusivas ignimbríticas (fuera del área), así como por el emplazamiento de cuerpos intrusivos (Intrusivo El Sarnoso).

Finalmente, durante el Plioceno, Cuaternario y Reciente, se desarrolla una serie de depósitos en forma de terrazas aluviales y de talud, denominado como Cenozoico

Continental Indiferenciado, los cuales están asociados con abanicos aluviales, sedimentos fluvio-lacustres y aluviones, que se acumularon sobre las zonas topográficamente bajas, que rellenaron con sus depósitos clásticos la gran depresión formada por los antiguos valles intermontanos de la actual región de La Laguna.

4.1. Estratigrafía

La geología general del acuífero está representada por rocas sedimentarias, volcánicas e ígneas intrusivas (figura 2), cuyo registro estratigráfico comprende del Triásico-Jurásico al Reciente.

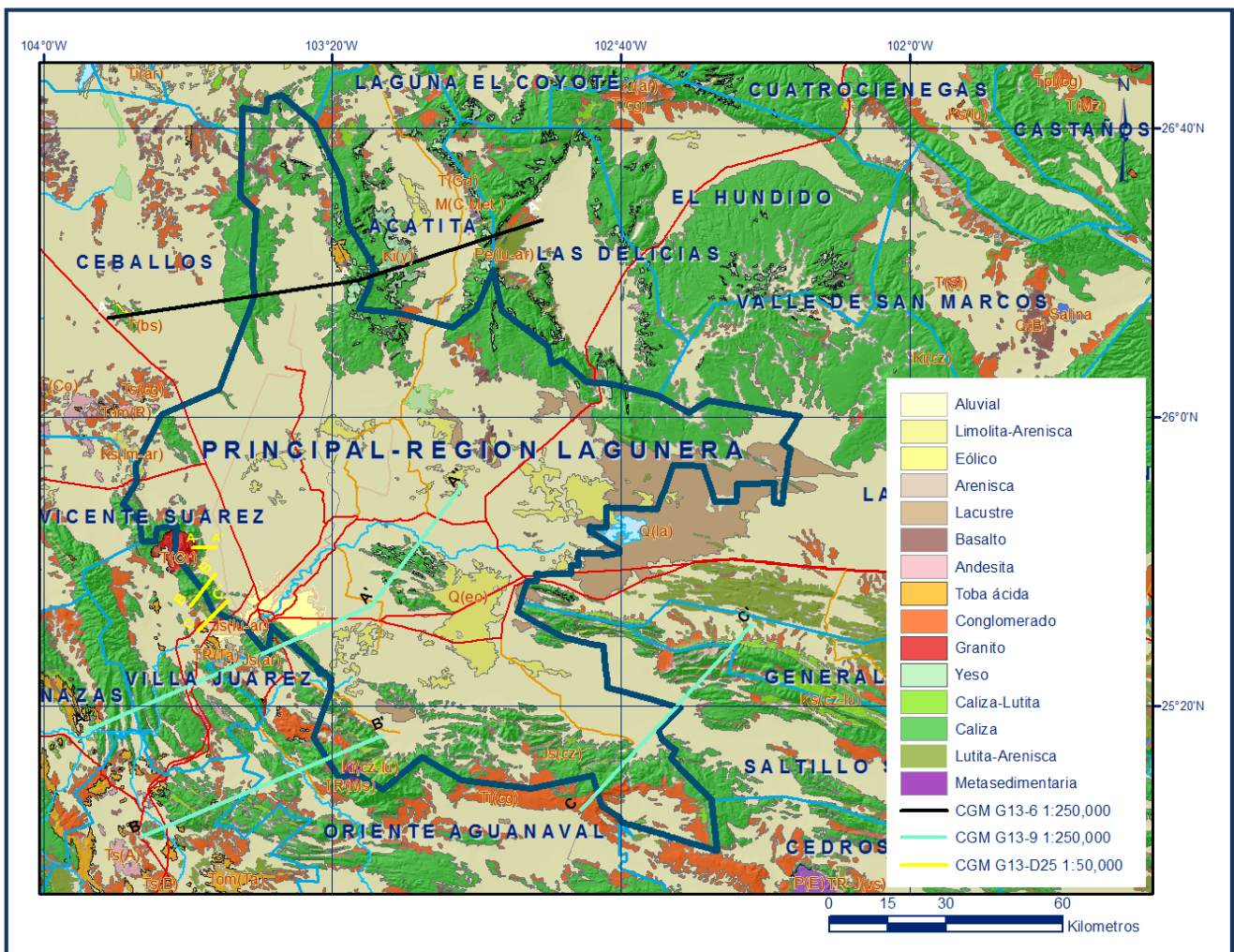


Figura 2. Geología general de acuífero

TRIÁSICO-JURÁSICO

Formación Nazas

Término formacional utilizado inicialmente por Pantoja (1963) para describir un conjunto de materiales vulcanosedimentarios cuya localidad tipo se encuentra en el Anticlinorio de Villa Juárez, sobre el Río Nazas. Es la unidad más antigua de la región y está

representada por una serie de lavas antiguas interestratificadas con lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados, que presentan muy baja permeabilidad y que funcionan como basamento geohidrológico de la cuenca. Aflora al sur y noroeste de Villa Juárez, conformando el núcleo de una estructura anticlinal con su eje en forma transversal al cauce del Río Nazas; así como también en las inmediaciones de los poblados Cinco de Mayo, al sur de Cerro Redondo y en la porción central de la Sierra de Jimulco donde consta de lutitas, limolitas y areniscas rojas, en ocasiones conglomeráticas. Los estratos más delgados son laminares hasta de 15 cm de espesor y corresponden a las lutitas y limolitas, en tanto que los derrames de lava y las areniscas, presentan horizontes masivos que superan el metro de espesor.

Por sus características litológicas, se asocia a un depósito de tipo "molasse", que rellenó las fosas tectónicas producidas en la fase post-orogénica (tafrogénica) de la Orogenia Apalacheana; en un ambiente continental con una intensa actividad volcánica, fallamiento en bloques, erosión intensa de las estructuras producidas durante la fase compresiva, el cual estuvo asociado a un vulcanismo de composición calcoalcalino relacionado con la apertura del Golfo de México.

JURÁSICO

Formación Zuloaga

Fue originalmente estudiada por Burckhardt (1906, 1930) en la región septentrional del centro de la república, refiriéndose a ella como "Caliza con Nerineas" y posteriormente fue definida como Formación Zuloaga por Imlay en 1938, designando como localidad tipo a la Sierra de Sombrerete, ubicada al norte de Melchor Ocampo, Zacatecas. Consiste de calizas estratificadas en capas gruesas con nódulos de pedernal, ocasionales bivalvos y gasterópodos. No se observa su contacto inferior con las rocas que le subyacen, subyace concordantemente a los sedimentos clásticos de la Formación La Casita. El contacto inferior en otras áreas más al sur, como el Distrito de Concepción del Oro, Zac., se encuentra descansando discordantemente sobre los lechos rojos de la Formación Nazas, Los Esquistos Rodeo y Caopas indistintamente. Por su disposición estratigráfica se le ha asignado una edad Jurásico Superior (Oxfordiano-Tithoniano), el equivalente extralitoral de la Formación La Gloria que aflora al oeste del área. Debido a la fauna encontrada y por su litología, sugiere que fue depositada en aguas tibias de poca profundidad propias de un ambiente de plataforma

En el área, aflora al sur del Villa Juárez, donde está representada por calizas y dolomías con fragmentos biógenos y presencia de yeso y sal.

Formación La Gloria

Fue definida formalmente por Imlay (1936) en su localidad tipo que son los afloramientos expuestos en el Cañón del Mimbres, ubicado en la Sierra La Gloria, ubicada a 50 km al

sureste de Parras, Coahuila, en donde está constituida por calizas de color gris claro y oscuro dispuestas en estratos gruesos, con intercalaciones de areniscas de grano medio a grueso, en ocasiones conglomeráticas, de color amarillento al intemperismo. La litología de esta unidad se caracteriza por ser clástica de manera predominante; está constituida por areniscas de cuarzo en estratos delgados a gruesos, de color blanco rosado, gris claro y ocasionalmente ocre y rojo oxido; a estos materiales en el área de Villa Juárez se le observaron intercalaciones de estratos conglomeráticos, así como algunos intervalos arcillosos y de manera ocasional bancos calcáreos fosilíferos. Los espesores reportados en los diversos trabajos realizados son: 342 m en el anticlinal La Leona de la Sierra de Jimulco; 275 m, en la Sierra El Chocolate del Levantamiento de Villa Juárez y 567 m en la localidad tipo.

Presenta sus mejores exposiciones en los núcleos de los principales anticlinales que conforman las sierras ubicadas al sur del poblado de Viesca, así como las localizadas al poniente y sur de Torreón. Aflora en la Sierra Chocolate, en el Levantamiento de Villa Juárez y en las cercanías del Anticlinal del Carmen de la Sierra de Jimulco. La cima de la unidad se relaciona concordantemente con los sedimentos clásticos de la Formación La Casita; localmente, descansa discordantemente sobre la Formación Nazas en la región de Villa Juárez y en contacto tectónico por medio de una falla lateral en la Sierra de Jimulco. Está expuesta de manera regional al sur del sistema orogénico transversal Torreón-Monterrey. Por su contenido faunístico y posición estratigráfica, Kellum (1932) le asignó una edad correspondiente al Jurásico Superior, comprendiendo en su totalidad al Oxfordiano.

Formación La Casita

Definida formalmente también por Imlay en 1936, quién designó como localidad y sección tipo a la secuencia sedimentaria encontrada en el Cañón La Casita, ubicado 50 km al suroeste de Saltillo, Coahuila, donde está constituida por secuencia más o menos rítmica de intercalaciones de lutitas, areniscas, margas, calizas, carbón, yeso y algunos conglomerados. Aflora el sureste de Villa Juárez en el Cerro Las Minas; en el flanco occidental de la Sierra de Mapimí y en el flanco oriental de la Sierra El Rosario, ubicados al oeste y suroeste, respectivamente. En la zona su litología está representada por areniscas de cuarzo, dispuestas en estratos medianos y delgados, de grano fino a medio, de color gris, con intemperismo pardo amarillento; algunos estratos de areniscas son gruesos y tienen abundantes pelecípodos; se le observa con interestratos de lutitas en estratos delgados a medianos, con algunos horizontes de limolitas; el color es gris verdoso que intemperiza en gris oscuro; también existen algunos horizontes de conglomerados, constituidos por fragmentos de roca ígnea y cuarzo blanco lechoso. En el área de estudio esta litología es bastante homogénea en todas las localidades en donde se encuentra expuesta y se caracteriza por carecer de estratos de calizas. Su

espesor varía de 508 m en el Levantamiento de Villa Juárez a 692 m en la Sierra Chocolate.

Sobreyace de manera transicional y concordante a las rocas de la Formación La Gloria y su contacto superior también es transicional y concordante con rocas de la Formación Carbonera; en las Sierras de Jimulco y El Carmen, subyace a los sedimentos de la Formación Taraises por medio de un contacto concordante, nítido y abrupto. Por su posición estratigráfica y por su contenido faunístico, se le asigna una edad Kimmeridgiano-Tithoniano, correlacionable con la Formación La Caja del Altiplano Mexicano. De acuerdo con las características litológicas observadas, se le atribuye un medio ambiente de depósito asociado a un sistema deltaico en el área de Torreón (Levantamiento de Villa Juárez y Sierra Chocolate), mientras que fuera de ésta zona cambia a una facies de plataforma continental de aguas profundas (área de Jimulco).

CRETÁCICO INFERIOR Y MEDIO

Formación Carbonera

Nombre propuesto por Imlay (1940) para designar a una secuencia de areniscas de cuarzo, de color gris, con intercalaciones de lutitas, areniscas arcillosas y areniscas feldespáticas, dispuestas en capas gruesas, de color gris verdoso y rojizo, que afloran en la Cuesta de La Carbonera, ubicada a 3 km al sur del Rancho Las Cuevas, Dgo. Aflora en el cañón del Soldado y en el borde oriental de la Sierra La Iglesia; en el Levantamiento de Villa Juárez, en donde se sitúa su localidad tipo, en el flanco occidental de la Sierra España y en la Sierra del Chocolate. En el área de Villa Juárez en el cañón de la Carbonera, se reporta hacia la base de la formación una secuencia de areniscas de cuarzo, de color gris claro que intemperizan en pardo rojizo. La parte media de la unidad la constituye un paquete de areniscas, de color gris oscuro, que intemperizan en color anaranjado y ocasionalmente en pardo rojizo; asimismo, es posible encontrar intercalaciones delgadas de lutitas de color negro. Dentro de esta parte de la columna se observan gasterópodos, pelecípodos y algunas amonitas. La cima de la formación se caracteriza por contener capas delgadas de calizas arcillosas, de color gris oscuro, con pelecípodos y gasterópodos.

En el área de Villa Juárez y en el flanco occidental de la Sierra de Mapimí, sobreyace de manera concordante y transicional a la Formación La Casita y subyace de manera concordante y franca a la Formación Cupido. Su espesor reportado en el Levantamiento de Villa Juárez es de 283 m. Por su contenido fósil en la localidad tipo, se le asigna una edad Berriasiano-Valanginiano, equivalente con la Formación Las Vigas del norte de Chihuahua y con la Formación Taraises de esta misma región, con la que cambia de facies hacia el oriente y sur del área de estudio. Su depósito ocurrió en un ambiente litoral restringido a los márgenes de la Isla de Coahuila, la cual presentaba una mayor extensión

hacia el sector de Villa Juárez, debido a que en esta área drenaban los ríos que provenían del elemento tectónico de la Isla de Coahuila, distribuyendo un mayor volumen de material terrígeno.

Formación Taraises

Fue definida por Imlay (1936) 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. Aflora ampliamente en la región Torreón-Monterrey, en las Sierras de Garambullo, Fraile, San Jerónimo, Astillero y otras más. Debido a su litología, es fácilmente erosionable desarrollando pequeños valles y puertos suaves de erosión, así como pequeños morros redondeados. Presenta color gris claro que intemperiza en pardo amarillento, dispuesta en capas delgadas y medias de 20 a 50 cm de espesor, contiene nódulos de hematita y óxidos disseminados. Su espesor estimado es de 350 a 400 m, sobreyace concordantemente a las formaciones La Casita o La Caja, y su contacto superior con la Formación Cupido es nítido y concordante. De acuerdo a su posición estratigráfica, la edad asignada es Berriasiano-Hauteriviano Inferior.

Formación Cupido

Con este nombre Imlay en 1937 definió originalmente a una secuencia calcárea situada entre las formaciones Taraises y La Peña que presenta estratificación gruesa a delgada y es de color gris, definiendo como localidad tipo la pared norte del Cañón del Mimbre, ubicado en la parte media de la Sierra de Parras, Coahuila, asignándole una edad Hauteriviano Superior al Barremiano. Garza-García (1972), propuso que el nombre fuera utilizado exclusivamente para nombrar a las facies de plataforma, para diferenciarla de las facies de mar abierto de la Formación Tamaulipas Inferior. En el área de estudio está constituida principalmente por una secuencia de calizas de facies de plataforma lagunar, con intercalaciones en algunas localidades de cuerpos de dolomías de ambientes de plataforma semi-restringida y ocasionales parches arrecifales. Son de color gris que intemperiza en color gris claro, presenta estilolitas, fracturas rellenas de calcita y algunos nódulos de pedernal. Aflora ampliamente y se encuentra constituyendo las partes más elevadas de las sierras formando grandes escarpes; se encuentra aflorando en la porción media meridional de la Sierra El Rosario, en las sierras de Mapimí, Las Noas, El Refugio, España, San Carlos, El Chocolate y Las Iglesias. Su espesor promedio varía de 350 a 500 m.

En el área de Villa Juárez y en el flanco occidental de la Sierra de Mapimí, a la Formación Cupido le subyace la Formación Carbonera de manera concordante y franca y le sobreyace de igual manera la Formación La Peña. Por la datación que proporcionan sus microfósiles (miliólidos) y por su posición estratigráfica que ocupa entre las formaciones Taraises y La Peña, se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano Superior-Aptiano Inferior que permite correlacionarla cronológicamente con la Formación Tamaulipas Inferior, su equivalente de facies de cuenca.

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 E-SE de la Hacienda La Peña, localizada en el extremo sur del Estado de Coahuila. Humphrey (1949), propuso que restringiera al miembro superior y el inferior a la Formación Cupido. Es una unidad de amplia distribución en el NE y E de México y un horizonte índice de referencia estratigráfica, debido a su contraste litológico marcado con las formaciones que la limitan. La unidad así definida contiene amonitas del Aptiano Superior, en particular de las especies *Dufrenoya justinse* y *Parahoplites sp.* Aflora la zona Torreón–Monterey, en la porción oriental de las Sierras de Garambullo, San Jerónimo, Arteaga y Jimulco. En la región aflora en sureste de San José de Zaragoza, donde está constituida por calizas arcillosas dispuestas en capas delgadas a laminares, que alternan con lutitas calcáreas, con presencia de nódulos y lentes de pedernal.

Su contacto inferior es transicional y concordante con la Formación Tamaulipas Inferior en la Sierra de San Lorenzo, en tanto que su relación con la Formación Cupido en el resto del área es por medio de un contacto concordante y nítido. En el sector de la Plataforma de Coahuila, su contacto superior es nítido y concordante tanto con la Formación La Paila como con las formaciones Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura (en la zona posterior al borde de la plataforma. Rogers et al., (1961), le asignan edad Aptiano-Albiano. Su contenido fósil y litología sugieren un depósito de mar abierto, en aguas sensiblemente profundas, bajo condiciones tectónicas inestables que ocasionaron los sedimentos clásicos finos en toda la unidad, ya sea como capas o contaminando la fracción carbonatada.

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. Aflora en el área de Parras, en los cañones Grande, Cuesta del Cura, Arroyo Ojo de Agua, del Potrero, de

Plataneros, de Juan Pérez, de Santiago y la Sierra Prieta; así como también en gran parte de la zona Torreón-Monterrey. Está representada por facies de aguas profundas (mudstone y wackstone), de estratificación mediana a gruesa, en ocasiones masiva con nódulos y capas delgadas de pedernal. El color de la caliza es gris crema a gris oscuro que intemperiza a gris amarillento. El espesor varía en la región de 50 a 120 m. Sus contactos inferior y superior con las formaciones La Peña y Cuesta del Cura, respectivamente, son nítidos y concordantes. En el área del acuífero, aflora al oriente de la ciudad de Lerdo, donde está constituida por calizas de estratificación mediana a gruesa, ocasionalmente masiva, con nódulos de pedernal.

Por su posición estratigráfica parece corresponder 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. Su litología y contenido fósil indican que su depósito ocurrió en facies de cuenca y se desarrolló alrededor de la Plataforma de Delicias (Albiano-Cenomaniano). Algunos geólogos de PEMEX difieren de esto y afirman que se depositó en un ambiente de plataforma, tal como se ve en el resto de la provincia de Coahuila.

Formación Tamaulipas Superior

Fue descrita originalmente por Stephenson (1921) y definida formalmente por Muir en 1936, en la localidad tipo que es la secuencia de calizas expuestas en el Cañón La Borrega ubicado en la Sierra de Tamaulipas; la dividió en dos miembros: El inferior está formado por calizas de grano fino de color blanco y amarillo crema, dispuestas en estratos de aproximadamente 0.35 m, que se agrupan en cuerpos de más de 1 m de espesor y que alternan con estratos más delgados, de 0.1 a 0.2 m. Presentan líneas estilolíticas a lo largo de los planos de estratificación y prácticamente no contiene pedernal. El miembro superior consta en su parte basal de calizas densas de grano fino, de color blanco y crema, dispuestas en estratos ondulados de espesor variable entre 0.1 y 0.4, con nódulos de pedernal amarillo ámbar y gris. Arriba de estas capas aparecen capas de 0.3 a 0.1 m de margas laminares, que están cubiertas por calizas de color crema que contienen lentes de pedernal negro. Sobreyaciendo a las rocas mencionadas se encuentran calizas del mismo color con estratos ondulados pero más delgados, de 0.11 a 0.2 m. En la región está representada por capas gruesas a masivas de calizas densas, de color gris a gris pardo al intemperismo y gris claro a oscuro en muestra fresca; cuyo espesor estimado es de 400 m. Presenta nódulos y bandas de pedernal de color gris claro, que generalmente se asocian con capas de estratificación ondulada (boudinage), y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación. Sobreyace concordantemente a la Formación La Peña mediante un cambio nítido y abrupto en la sedimentación; su contacto superior con la Formación Cuesta del Cura es concordante y de forma transicional, por lo que generalmente es muy difícil definirlo. Aflora en todos los flancos de las estructuras

anticlinales y sinclinales, en los cuales conforma su parte axial. Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica, se le asigna edad Albiano–Cenomaniano y es equivalente a la Formación Aurora.

Formación Cuesta del Cura

Originalmente descrita por Imlay (1936) al referirse a 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 se encuentra entre las formaciones Aurora e Indidura. Consiste principalmente de capas medianas a delgadas y onduladas de caliza de color gris a negra, compacta y un poco arcillosa; contiene nódulos, lentes y bandas de pedernal negro. Aflora en forma de una banda de lomeríos alineados en los anticlinales de Parras, Taraises, Prieta y Santiago, al SE de Torreón, pero también ampliamente en casi toda la zona Torreón-Monterrey, aunque con espesores menores de 300 m. En el área del acuífero aflora en el flanco occidental de la Sierra El Rosario, donde está constituida por calizas dispuestas en capas medianas a delgadas, ocasionalmente onduladas y con horizontes arcillosos; presenta nódulos, lentes y bandas de pedernal.

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.

Formación Viesca

Unidad fue definida por Garza-García (1973), considerando como localidad tipo el cerro constituido por cuerpos masivos de calizas arrecifales, ubicado a 7 km al poniente del poblado de Viesca, Coah. Aflora únicamente en su localidad tipo, que corresponde con el extremo suroriental de la región. Está integrada por calizas arrecifales (boundstone) de color gris claro, dispuestas en bancos masivos que presentan abundantes rudistas, corales y otros organismos constructores de arrecifes. Se caracteriza por presentar fracturamiento sin tendencia preferencial. Estas rocas cambian lateralmente a facies de mar abierto que conforman la Formación Tamaulipas Superior y hacia el post-arrecife, originando facies lagunares correspondientes a la Formación Treviño. Por su posición estratigráfica, se le asigna una edad Albiano Medio–Superior y se correlaciona con la Formación Cuesta del Cura.

Formación Acatita

Nombre formacional propuesto por Humphrey en 1956 para referirse a un paquete de rocas con abundante fauna marina, que ocupan gran parte de los sectores centro y sur de Coahuila y noreste de Durango. Su localidad tipo se encuentra en el frente suroeste de la Sierra de Acatita. Corresponde con la facies lagunar, ya que está constituida por calizas, calizas dolomíticas, dolomías, yesos y anhidritas, que presentan lentes y nódulos

de pedernal negro. Su espesor promedio es de 400 m. Por su posición estratigráfica, se le ha asignado una edad ubicada en el Albiano Inferior y Medio, por lo que se correlaciona con la Formación Viesca, así como con la porción basal de la Formación Tamaulipas Superior, que es su equivalente en facies de mar abierto.

Formación Treviño

Este término fue propuesto por Garza-García (1973), para designar una secuencia de calizas dispuestas en estratos gruesos, que contienen miliólidos y restos biógenos, situando su localidad tipo en el Cañón de Treviño, ubicado en la porción norcentral de la sierra La Paila, localizada a 19 km al W-SW de la Hacienda de Guadalupe, Coahuila. Con este nombre se agruparon las rocas que constituyen gran parte de la sierra Las Noas. Consiste principalmente de estratos gruesos y masivos de calizas de textura media a gruesa con miliólidos, que en determinados intervalos estratigráficos y sin un orden secuencial presentan capas de textura gruesa con caprínidos y/o toucasias; ocasionalmente capas con corales y algas. Se han medido espesores entre 500 m en la Sierra Las Noas y 700 m en el Cerro El Pozanco. Por su contenido faunístico y por su posición estratigráfica, se considera que los sedimentos de la Formación Treviño se depositaron durante el Albiano Superior, correlacionable en esta región con la parte superior de la Formación Tamaulipas Superior, así como con la Formación Cuesta del Cura. En la Sierra de Jimulco y hacia el área de Charcos de Risa se reporta presencia de horizontes de yeso. Descansa sobre la Formación Acatita en forma transicional y concordante, en tanto que su contacto superior con la Formación Indidura es abrupto pero concordante también.

CRETÁCICO SUPERIOR

Formación Indidura

Fue estudiada por primera vez por Emil Bosé en 1906 en la Sierra de Parras y posteriormente definida por Kelly en 1936 en su localidad tipo de Delicias Coahuila, específicamente en el afloramiento localizado en el flanco oriental del Cerro La Indidura, localizado aproximadamente a 8 km al norte de Tanque Toribio, en donde consiste de 30 m de lutitas y calizas resquebrajadas y calizas lajeadas. Aflora ampliamente en las estructuras anticlinales y se identifica fácilmente en campo debido a la erosión diferencial con respecto a las formaciones más resistentes que la encajonan, formando puertos y valles sobre los sinclinales.

Consiste, en términos generales, de una secuencia de wackestone areno arcilloso, que varía gradual y transicionalmente a intercalaciones de lutitas calcáreas; estratificada en capas delgadas y medianas con espesores de 5 a 20 cm y 30 a 60 cm, respectivamente; de coloración gris oscuro a negro en muestra fresca, cambiando comúnmente a pardo amarillento y ocasionalmente en tonalidades rosáceas y rojizas, con presencia de estructura laminar, fracturas y vetillas rellenas por calcita, así como diseminaciones de

óxidos. En ocasiones presenta impresiones y moldes de bivalvos (*Inoceramus labiatus*). Su espesor varía de 350 a 800 m. 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. El cambio de color al intemperismo y la disminución en el espesor de los estratos, son características que definen también el límite entre esas unidades. Su edad corresponde al Cenomaniano Inferior-Santoniano. Aflora en la Sierra Las Noas, donde presenta un conglomerado basal, que indica una emersión de la plataforma de Coahuila; en las sierras de Solís y de Texas, localizadas al noreste de Torreón. Su espesor promedio es de 300 m.

TERCIARIO

Formación Ahuichila

Definida formalmente por Rogers (1981), en los afloramientos expuestos en el “Frontón de Ahuichila”, ubicado en el límite donde convergen los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas, ubicado a unos 25 km al suroeste de Viesca, Coahuila. Es un depósito de tipo molasa continental que se acumuló después del plegamiento de la Sierra Madre Oriental: está constituida por depósitos clásticos de origen continental (conglomerados y brechas) conformados por fragmentos de caliza, calcarenita, calcilutita y de rocas volcánicas, en una matriz calcárea y limolítica; así como calizas, arcosas, calizas de agua dulce, tobas y otros materiales piroclásticos, que se presentan en bancos gruesos y masivos; de colores que varían de gris a rojizo. Sus afloramientos son restringidos y se localizan dispersos principalmente en las zonas de pie de monte. Está constituida por conglomerados polimícticos masivos de fragmentos de calizas y pedernal, llegan a medir hasta 10 cm de diámetro, están bien redondeados, mal clasificados y presentan una matriz arcillo-limosa fuertemente cementada por carbonato de calcio. Rogers (op.cit.) en su localidad tipo reporta un espesor de 305 m. Aflora al noroeste de Villa Juárez, en donde alcanza un notable espesor; en las sierras Las Iglesias y Mapimí, así como en los flancos occidentales de las Sierras España y El Rosario.

Debido a su posición estratigráfica y su origen, se relaciona con los primeros depósitos de características continentales, formados como consecuencia de la emersión del continente, generada por la Orogenia Laramide. Restos de fósiles de vertebrados encontrados por Fries et al, en 1955, en otras formaciones semejantes, como el Conglomerado de Guanajuato, le asignan una edad Eoceno-Oligoceno Inferior.

Rocas intrusivas

Están representadas por rocas de composición granítica que afloran en el extremo norte de la Sierra El Sarnoso, en la zona minera de Dinamita, cuya edad es Oligoceno Temprano, determinada por el método K-Ar fue de 32 ± 1 Ma. A esta unidad corresponde también las rocas de composición riolítica que en forma de un cuello volcánico,

compacto e impermeable se observa exclusivamente en un afloramiento aislado ubicado en el Cerro Colorado.

Rocas volcánicas

Compuestas por andesitas, basaltos y tobas, que desde el punto de vista hidrogeológico se consideran impermeables, cuyos afloramientos se localizan de manera aislada en forma de pequeños cerros que sobresalen del nivel general del relleno del valle, sobre la margen izquierda del Río Nazas y en algunas otras localidades aisladas, como el sur de las sierras de Tlahualilo y Las Delicias.

TERCIARIO-CUATERNARIO INDIFERENCIADO

En este paquete sedimentario se incluye a todos los sedimentos continentales de talud y terraza que se encuentran distribuidos irregularmente en los bordes de las sierras y que presentan espesores que varían de 50 a 100 m. Está constituido por conglomerados polimícticos, gravas y arenas mal clasificadas sin consolidar, las cuales se encuentran generalmente conformadas por fragmentos subangulares a subredondeados de calizas y de rocas volcánicas. Sobreyace de manera discordante a las unidades preexistentes y le sobreyacen depósitos aluviales del Reciente. Se considera que su depósito ocurrió durante el Plioceno-Pleistoceno y se correlaciona con la Formación Los Llanos o Santa Inés (Enciso de la Vega, 1968) del área de Cuencamé, Durango y con el Conglomerado Reynosa del noreste de México.

CUATERNARIO

Aluvión y depósitos de talud

Se encuentran representados en el área de estudio, por depósitos de acarreo en cauces de ríos y arroyos, suelos residuales, limos y arcillas, depositados en las zonas topográficamente bajas y planas. Los depósitos de talud, están constituidos por depósitos residuales y gravas mal consolidadas, acumulados en las estribaciones de las sierras. Estos depósitos son el resultado del intemperismo fisicoquímico y mecánico de las rocas preexistentes y cubren discordantemente a todas las rocas anteriores. En la unidad se incluyen también depósitos eólicos y lacustres que se acumularon principalmente en la zona de las antiguas lagunas de Mayrán y Viesca.

4.2. Geología Estructural

De la interpretación de la imagen de satélite y el modelo digital de elevación del terreno, se definieron cuatro bloques de orientación general NW-SE, limitados por una serie de falla de tipo normal, con la misma orientación. Dichas estructuras corresponden al pilar de la Sierra El Rosario, ubicado en la porción occidental, el pilar de las Sierras Mapimí-Las Iglesias, en la porción oriental, el cual se encuentra cortado por el curvilineamiento El Sarnoso; la fosa Santa Inés, en el límite poniente, y la fosa Vicente Suárez, en la porción

central. La evolución tectónica del área inicia durante Triásico Tardío-Jurásico Medio cuando los esfuerzos tensionales se intensificaron y provocaron el rompimiento del basamento, dando lugar a la formación de fosas y pilares que se rellenaron con los depósitos continentales intercalados con rocas volcánicas, secuencia que corresponde a la Formación Nazas. Durante el Jurásico Superior, cuando el mar tethisiano inundó áreas bajas, extensas y planas, se depositaron primero terrígenos y carbonatos que formaron amplias plataformas separadas por elementos insulares; posteriormente estas plataformas evolucionaron y fueron cubiertas por terrígenos con variaciones de ambientes de depósito, originando el conglomerado de la Formación La Joya y la secuencia terrígeno-calcárea de la Formación La Gloria. De esta forma se desarrolló la paleo-isla de Coahuila, la cual separó, entre otras, a la cuenca del Centro de México. Esta constituye una cuenca de depósito cuya subsidencia se asocia inicialmente a un control estructural. El control sedimentario y estructural de los bloques paleo-tectónicos continuó durante el Cretácico Inferior, las áreas continentales fueron cubiertas por el mar y se desarrollaron bancos y plataformas carbonatadas como la de Coahuila.

Estructuralmente se reconocieron deformaciones de tipo dúctil, dúctil-frágil y frágil. La primera se aprecia en la Formación La Peña como foliación incipiente y moderada, oblicua a la estratificación. La segunda corresponde a la deformación laramídica que generó pliegues anticlinales y sinclinales, y la tercera asociada a la fase distensiva que desarrolló sistemas de fallas normales orientadas al NW y NE; en este último, con componente lateral derecho. Asociada a intrusiones no expuestas, se identificó un lineamiento curvo ubicado en la porción sur-suroeste. El arreglo tectónico inicia cuando el antiguo complejo basal se fragmentó debido a la deriva de la placa de Norteamérica, simultánea a la subducción de la placa del Pacífico. Del Triásico al Jurásico Temprano, la margen Atlántica se comporta pasivamente, en tanto que la Pacífica se mantiene activa, con subducción y magmatismo de tipo arco insular y sedimentación de cuenca marginal. En el Triásico Tardío-Jurásico Medio, los esfuerzos tensionales se intensifican y provocan el rompimiento del basamento, dando lugar a fosas y pilares que se rellenan con depósitos continentales intercalados con rocas volcánicas, secuencia que corresponde a la Formación Nazas. Las condiciones continentales cambiaron al iniciarse una transgresión marina general marcada por el depósito de sedimentos clásticos de la Formación La Gloria en el Oxfordiano. La sedimentación continúa hasta parte del Cretácico Inferior, depositándose las formaciones La Casita, Carbonera y Taraises. En el Barremiano-Aptiano Temprano la pasividad tectónica permitió el desarrollo de una plataforma carbonatada limitada hacia sus bordes occidental y meridional por una zona de aguas profundas. El depósito de carbonatos en este ambiente se llevó a cabo en una facies de plataforma lagunar restringida por esporádicos desarrollos arrecifales de la Formación Cupido. En el Aptiano Tardío la facies de plataforma varía con el depósito de considerables cantidades de arcilla que dan origen a la Formación La Peña. En el Albiano-Cenomaniano ocurre el máximo avance de los mares en el Mesozoico que

cubren la totalidad de la antigua Isla de Coahuila. Al mismo tiempo, cesó la actividad tectónica en el occidente, dando como resultado la acumulación de carbonatos en un medio de plataforma abierta, lagunar y restringida de la Formación Aurora. Posteriormente, desde el Cretácico Tardío hasta principios del Neógeno, la Orogenia Laramide se manifiesta como un evento de compresión que plegó y desplazó a lo largo de sistemas de fallas a los sedimentos del Mesozoico. Acompañando al plegamiento ocurrió un intenso fracturamiento de las rocas mesozoicas, con fracturas de tensión transversal al eje del plegamiento, debido a esfuerzos de tensión y cortantes que resultaron de fuerzas compresionales. El emplazamiento de cuerpos intrusivos como el granito El Sarnoso coincide con una etapa de regresión del arco magmático hacia el occidente, con una edad de 32 a 23 Ma. Después de la Orogenia Laramide se forman depósitos de tipo molasa de la Formación Ahuichila, producidos por la intensa erosión de las rocas del Cretácico y en algunos casos del Neógeno. Es evidente la actividad erosiva porque ha labrado los rasgos fisiográficos actuales, rellenando las partes bajas con acumulaciones de materiales continentales. (Carta Geológico-Minera Torreón G13-D25. Escala 1:50,000, SGM, 2012).

4.3. Geología del Subsuelo

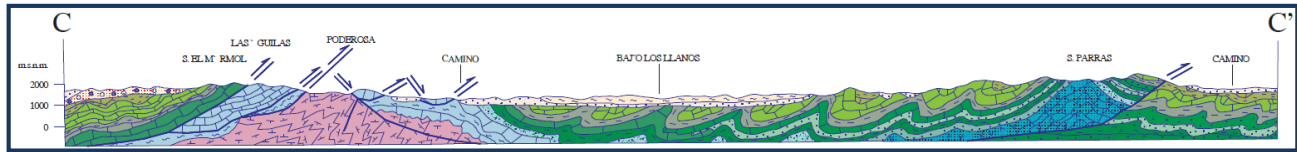
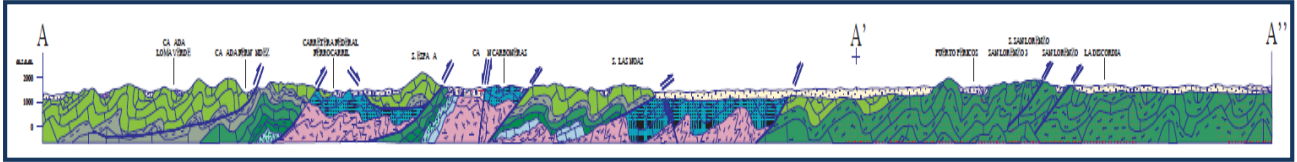
De acuerdo con la información geológica y geofísica recaba en el acuífero, así como con la información obtenida a partir de cortes litológicos de pozos, las evidencias de la geología superficial y estructural, se puede establecer que existe un relieve sepultado conformado por rocas sedimentarias intensamente plegadas a lo largo de ejes orientados en sentido general NW-SE, sobre el que se depositaron gruesos espesores de materiales aluviales, por lo menos de dos edades diferentes: los conglomerados polimícticos de la Formación Ahuichila, empacados en una matriz calcárea y limosa; sobre el que se acumularon potentes depósitos aluviales, fluviales y lacustres no consolidados.

El acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales, fluviales, lacustres y de pie de monte, de granulometría variada, que se alternan e interdigitan tanto vertical como horizontalmente, que son producto del intemperismo de las rocas que rodean los valles, y los conglomerados polimícticos que los rellenan; cuyo espesor alcanza hasta 1000 m de relleno de abanicos aluviales en los bajos estructurales originados por las fallas. Estos depósitos granulares son el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se originaron durante la fase distensiva que ocurrió después de la Orogenia Laramide, en los que la disposición errática y sobreposición de las facies de los depósitos sedimentarios ocasionan alternancia de horizontes acuíferos y acuitados a diferentes profundidades, con manifestaciones de filtraciones o "lloraderos" en los niveles más profundos de los pozos. Aunque la información piezométrica, estratigráfica y estructural permite la

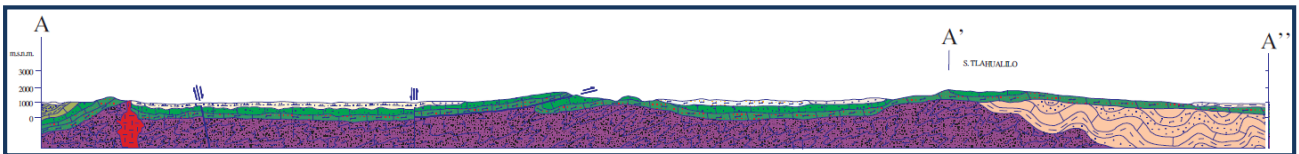
identificación de niveles freáticos someros en la zona comprendida entre la porción oriental de Torreón y los poblados Matamoros, La Concha y Maravillas, la gran heterogeneidad de los depósitos hace posible que dichos niveles se presenten en otros sitios, como ocurre también entre Francisco I. Madero y San Pedro de las Colonias, hacia la Laguna de Mayrán.

Los sedimentos depositados como producto de la actividad de los ríos Nazas y Aguanaval en facies de canales, bancos de arenas y planicies o llanuras de inundación, constituyen gran parte del volumen del material granular que relleno el valle de la Laguna. Las facies de canales asociadas al río Nazas se encuentran distribuidas principalmente a lo largo de una franja orientada N-S, entre Gómez Palacio y Tlahualilo de Zaragoza. Los depósitos de planicies de inundación, asociados a los cauces de los ríos Nazas y Aguanaval, constituyen el mayor volumen de sedimentos depositados a lo largo de toda la extensión del acuífero, comparativamente con las facies de canales fluviales y lacustres, y están representados por clásticos del tamaño de arenas, limos y arcillas. Los sedimentos arcillosos se acumularon en las antiguas lagunas de Tlahualilo, Mayrán y Viesca.

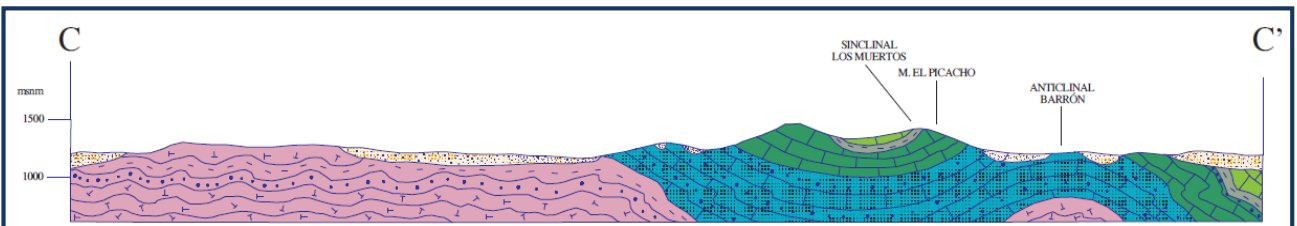
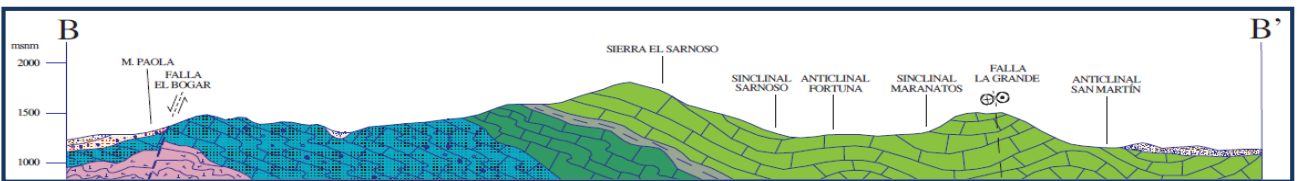
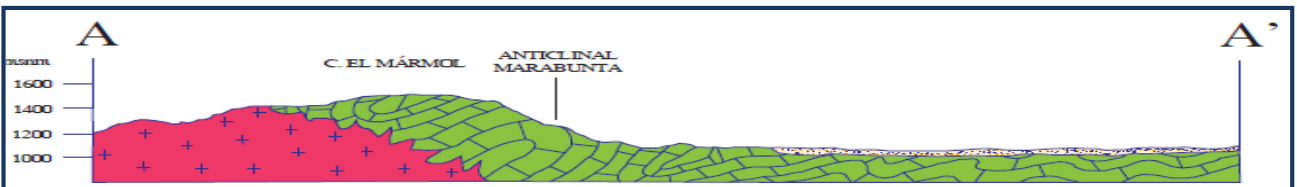
La porción inferior está alojada en un medio fracturado, posiblemente con desarrollo de carsticidad, constituido por las rocas calcáreas de las formaciones Cuesta del Cura y Aurora. A mayor profundidad, las calizas de la Formación Cupido pueden funcionar como acuífero confinado o semiconfinado debido a que están sub y sobreyacidas por rocas arcillosas. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento del acuífero, están constituidas por las rocas arcillosas de las formaciones La Peña y Taraises, las secuencias arcillo-calcáreas compactas de las formaciones La Casita y La Gloria y las rocas ígneas intrusivas. El basamento regional está constituido por la secuencia de rocas volcánicas, sedimentarias y lechos rojos de la Formación Nazas. La configuración del basamento define la presencia de varios bajos estructurales orientados NS y NW-SE, cuya continuidad meridional es interrumpida por una falla de desplazamiento lateral. En la figura 3 se presentan secciones geológicas esquemáticas que muestran la compleja geología estructural y del subsuelo.



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-9 Torreón. Escala 1:250,000 SGM, 2000



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-6 Tlahualilo de Zaragoza. Escala 1:250,000 SGM, 2008



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-D25 Torreón. Escala 1:50,000 SGM, 2012

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero conformado por un medio poroso en su porción superior que está constituido por sedimentos aluviales, fluviales y lacustres, de granulometría variada, depositados en los valles y en los cauces de ríos, arroyos y planicies aluviales, así como conglomerados polimícticos y depósitos de pie de monte acumulados en las estribaciones de las sierras; cuyo espesor conjunto alcanza hasta 1000 m en los depocentros que constituyen las fosas tectónicas. El medio fracturado está alojado en rocas calcáreas y volcánicas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución en el caso de las rocas calizas. Ambos medios constituyen un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, que puede presentar condiciones locales de semiconfinamiento debido a la presencia de sedimentos arcillosos. El movimiento del agua subterránea está controlado por el patrón de fallas y fracturas, en el que las trayectorias preferenciales son definidas por la geología estructural y por las características texturales, estructura y disposición de los sedimentos granulares.

La secuencia de rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Jurásico Superior, constituye un acuífero de alta permeabilidad que ha demostrado su potencial, y que al estar encajonadas por rocas arcillosas, puede presentar condiciones de **semiconfinamiento y confinamiento**.

5.2. Parámetros hidráulicos

Para la determinación de los valores de los parámetros hidráulicos de las unidades que conforman el acuífero en explotación, se analizó la información de pruebas de bombeo de larga duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, que fueron realizadas en estudios previos en los pozos que explotan los depósitos detríticos. De su interpretación por métodos analíticos convencionales y por el modelo numérico de Rathod and Rushton (1991), se establece que los valores de transmisividad varían entre **7.9×10^{-5} y $10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en tanto que la conductividad hidráulica varía de **0.24 a 5.5 m/d (2.8×10^{-6} a $63.7 \times 10^{-5} \text{ a m/s}$)**. Los valores más altos de estos parámetros se registraron al noreste de Torreón, asociados a facies de paleocanales, y tienden a disminuir hacia los poblados Francisco I. Madero y Sofía; en tanto que los más bajos se presentan en sedimentos de planicie de inundación con presencia de arenas finas, arcillas y limos. Aunque de manera general el comportamiento de los valores de los parámetros mencionados está asociado al cauce del río Nazas, existe gran heterogeneidad vertical y horizontal que es producto de los cambios abruptos de facies en el subsuelo, interestratificaciones e interdigitaciones.

Algunas de las pruebas de bombeo contaron con pozo de observación, permitiendo estimar valores del coeficiente de almacenamiento que varían de **1.2 x10⁻⁶ a 0.01** y de rendimiento específico de **0.05 a 0.12**.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información piezométrica recabada por el Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte de la Comisión Nacional del Agua, para varios años. Para el balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2000-2015, por ser el que tiene mayor cantidad de información y mejor cobertura espacial en los pozos perforados en el acuífero regional.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2015 muestra valores que varían, de manera general, de 10 m a 180 m, los cuales se incrementan debido a dos efectos: por topografía, desde el centro de los valles y del cauce Río Nazas, hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan, y por concentración del bombeo hacia el centro de las zonas de extracción intensiva. Las profundidades más someras, de 10 a 30 m, se presentan en la porción oriental del acuífero, entre los poblados Concordia y San Pedro de las Colonias, asociados a las márgenes del Río Nazas. Profundidades mayores, de 40 a 50 m, se registran al sur de Tlahualilo. Los niveles más profundos, de 150 a 180 m, se registran en las estribaciones de las sierras Las Noas, El Sarnoso, Texas y San Lorenzo, y en las zonas agrícolas de concentración de la extracción, localizadas entre Torreón y Matamoros, al sur de ésta y en Francisco I. Madero (figura 4).

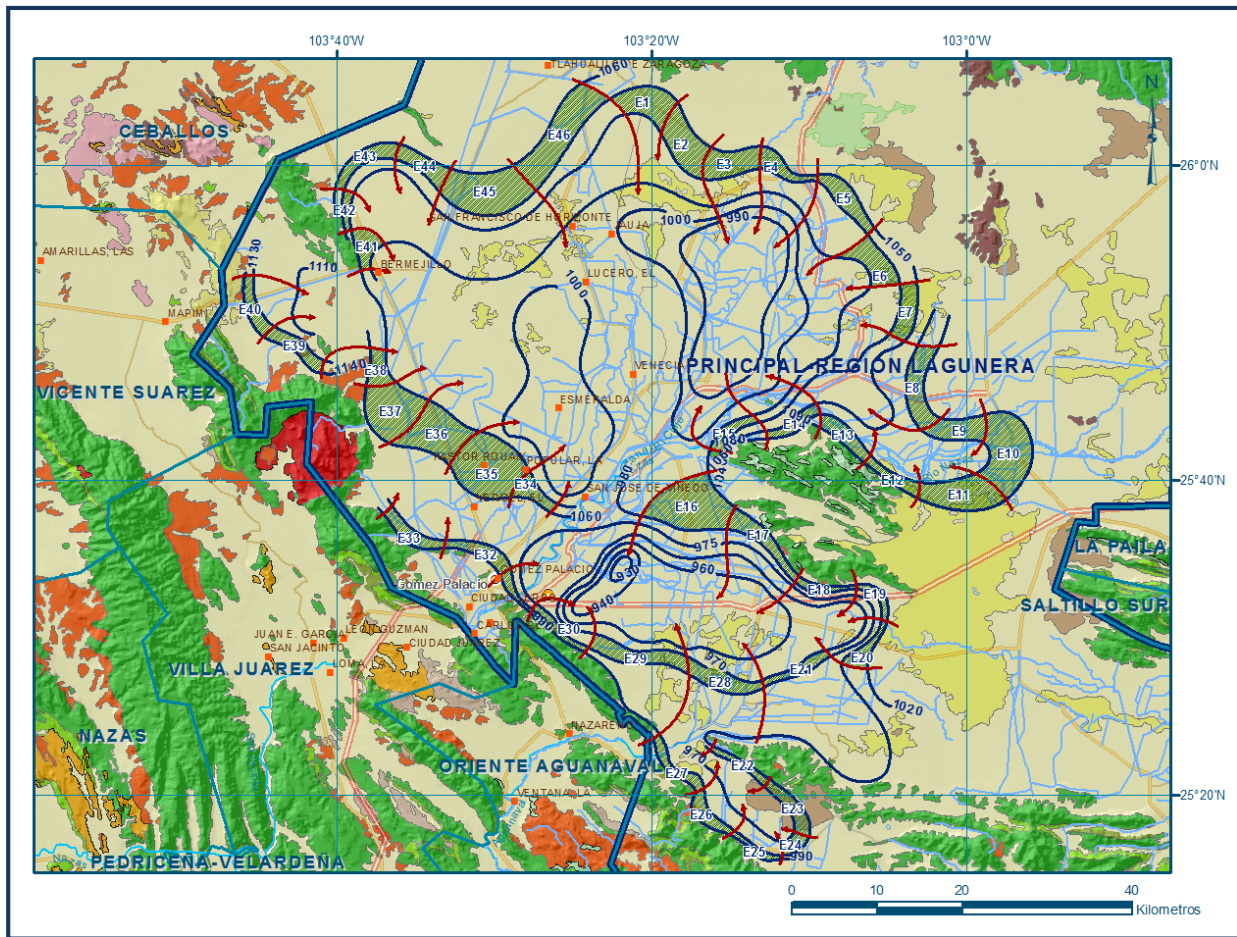


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2015)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La información piezométrica histórica no tiene registro consistente para los mismos pozos y existen dificultades para correlacionar los aprovechamientos por su identificador o la nomenclatura utilizada en censos realizados en diversos estudios. Debido a esto, se analizaron diferentes periodos de evolución, correlacionando los pozos por su ubicación geográfica, de manera tal que el promedio anual de abatimiento obtenido sea representativo de las diferentes zonas y se tenga el mayor número de datos con la mejor distribución espacial. Por estas razones, la configuración de la evolución que se presenta en la figura 6 muestra los valores promedio anuales de abatimiento registrados en los periodos 2000-2015, 2011-2015 y 2012-2015, que se consideran representativos del periodo más largo, es decir 2000-2015.

En este periodo se registraron valores de abatimiento en la mayor parte de la zona de explotación, que varían desde algunos centímetros, en toda su periferia, hasta 3 m anuales en las zonas de mayor concentración de la extracción. Los abatimientos de 3 m anuales se registran principalmente en las zonas de extracción intensiva para uso agrícola, definiendo conos ubicados entre Torreón y el poblado Esmeralda, en la comunidad La Rosita, localizada al sur de Matamoros, y al sur de Finisterre. Rodeando a

estas zonas y haciendo más extensos los conos de abatimiento, se presentan valores de 2 m anuales en la toda la región central del acuífero, desde Torreón hasta el norte de Finisterre, y en la porción sur, entre Matamoros y la localidad llamada Petronilas. Desde estas regiones, hacia las estribaciones de las sierras que delimitan los valles, y hacia las lagunas de Mayrán y Viesca, los abatimientos disminuyen gradualmente hasta ser imperceptibles (figura 6).

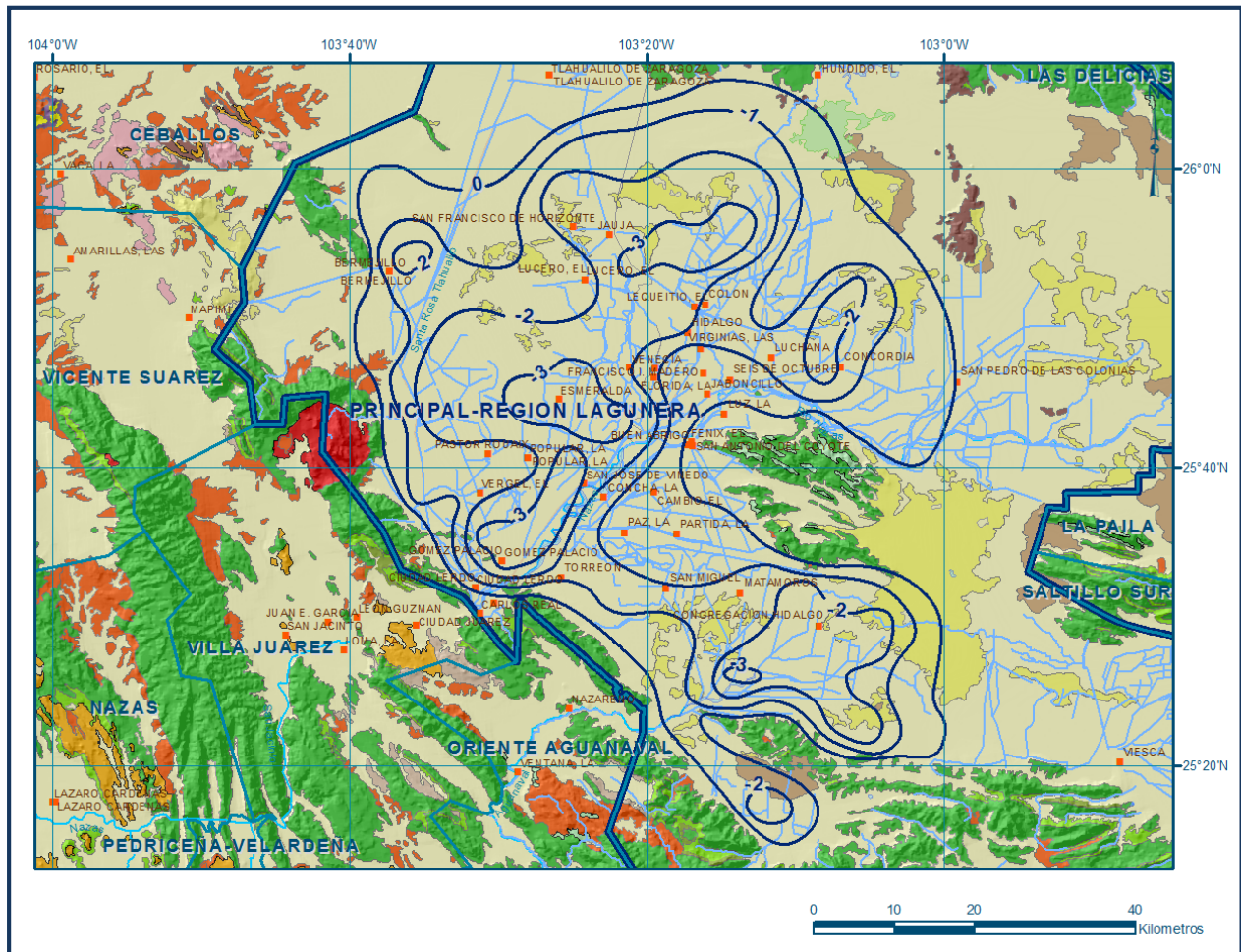


Figura 6. Evolución promedio anual del nivel estático en m (2000-2015)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de las actividades de campo consideradas en el estudio realizado en el año 2000, se tomaron 60 muestras de agua subterránea, en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), potencial de hidrógeno (pH), potencial redox, (Eh), dureza total, alcalinidad, oxígeno disuelto, nitratos, iones principales, flúor, arsénico, mercurio, plomo, boro, litio, hierro, molibdeno, selenio, magnesio, manganeso y estroncio, entre otros.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de sólidos totales disueltos (STD) variaron, de manera general, de 170 a 5370 mg/l, con un valor promedio de 1200 mg/l, que supera el límite máximo permisible (LMP) de 1000 mg/l establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD, para el agua destinada al consumo humano. 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 de conductividad eléctrica varían de 280 a 8800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores más altos de STD y conductividad eléctrica se registraron en la porción norte del acuífero y se incrementan en dirección general sur-norte, confirmando la dirección preferencial del flujo subterráneo.

Las temperaturas registradas variaron de 15 a 43 °C, predominando los valores de 25 a 20 °C, en tanto que el pH varía de 6.5 a 8.6. Los valores mayores de temperatura, de 32 a 43 °C, se registraron entre Matamoros y Viesca, en la zona norte-centro entre Bermejillo y El Lucero, y en las estribaciones de la Sierra El Sarnoso. Los valores más bajos, de 15 a 25 °C, se presentaron en el agua subterránea somera colectada en los alrededores de Torreón, en el norte de Finisterre, en la región adyacente al río Aguanaval y en la porción nororiental de Torreón, a lo largo del curso del río Nazas. La distribución de la temperatura sugiere la presencia de sistemas de flujo que circulan a diferentes profundidades a través de rocas y materiales de diferente naturaleza.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que las familias del agua que predominan son la cálcica-sulfatada, sódica-sulfatada y mixta-sulfatada, que se presentan principalmente en la porción norte del área de explotación (norte de Francisco I. Madero, oeste de San Pedro de las Colonias y a lo largo de la carretera Torreón-Bermejillo), donde también se registran las máximas concentraciones de STD, por lo que pueden estar asociadas a la presencia de minerales evaporíticos, pero que en general, también representan contaminación debida a los fertilizantes agrícolas. El agua con presencia de bicarbonatos, de menor salinidad, se presenta en la porción oriental y nororiental de la zona conurbada de Torreón, en parte coincidiendo con el curso del río Nazas, en la región ubicada al noreste de Francisco I. Madero y las inmediaciones de Finisterre.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), la mayoría de las muestras se clasifican como C_3-S_1 que representa contenido alto de sales y baja concentración de sodio intercambiable, y C_2-S_1 que presenta contenido medio de sales y concentración baja de sodio; ambas se consideran aptas para el uso agrícola, en la mayoría de suelos sin generar problemas por el sodio intercambiable. Sin embargo, desde el punto de vista

de la salinidad, el 80% de las muestras presentan agua con concentraciones altas (C₃) a muy altas (C₄) que solo pueden utilizarse en cultivos tolerantes a las sales y suelos poco permeables que requieren lavado periódicos.

De las determinaciones realizadas, se establece que el agua presenta concentraciones por arriba del LMP que establece la norma mexicana en STD, iones principales, nitratos, flúor, litio, hierro, plomo, estroncio, mercurio, arsénico, selenio, manganeso, molibdeno así como en compuestos orgánicos como fenoles, y en microorganismos indicados como coliformes totales y fecales. Además de las fuentes naturales de contaminación del agua, están presentes las relacionadas con las actividades agrícolas, pecuarias y las aguas residuales de uso público-urbano

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo más reciente y completo realizado (CONAGUA, 2002), se registró la existencia de 2350 de aprovechamientos del agua subterránea, todos ellos pozos, de los cuales 1925 se consideraron activos y 425 inactivos por diferentes causas. De total pozos, 1494 son para uso agrícola, 184 para uso doméstico, 64 más para uso industrial, 143 para uso pecuario, 136 para abastecimiento de agua potable, 39 para servicios y 290 para usos múltiples.

El volumen total de extracción asciende a **1,088.5 hm³ anuales**, de los cuales 883.9 hm³ (81.2 %) se destinan al uso agrícola, 126.4 hm³ (11.6 %) para abastecimiento de agua potable, 49.8 hm³ (4.6 %) para uso doméstico-pecuario, 18.7 hm³ (1.7 %) para uso industrial, 7.3 hm³ (0.7 %) para servicios y 2.4 hm³ (0.2 %) para usos múltiples.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2000-2015, que es el que tiene mayor cantidad de información y mejor cobertura espacial, en una superficie de **3,760 km²** que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos.

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 la masa es como sigue:

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

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:

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

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R_t) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (R_v), y por flujo subterráneo horizontal (E_h).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela y a lo largo de los canales de distribución; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i).

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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:

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

Dónde:

R_v : Recarga vertical

E_h : Entradas por flujo subterráneo horizontal

R_i : Recarga Incidental

B : Bombeo

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

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

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \quad (2)$$

7.1.2. Entradas subterráneas horizontales (Eh)

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

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2015 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

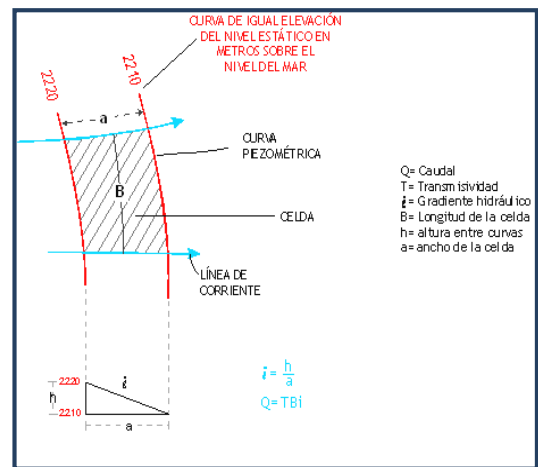
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **232.5 hm³/año**, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal (2015)

| 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 | 6785 | 3570 | 10 | 0.0028 | 0.0030 | 0.0570 | 1.8 |
| E2 | 6605 | 3930 | 10 | 0.0025 | 0.0035 | 0.0588 | 1.9 |
| E3 | 6785 | 2855 | 10 | 0.0035 | 0.0035 | 0.0832 | 2.6 |
| E4 | 7140 | 1515 | 10 | 0.0066 | 0.0040 | 0.1885 | 5.9 |
| E5 | 9465 | 1785 | 10 | 0.0056 | 0.0040 | 0.2121 | 6.7 |
| E6 | 5355 | 2855 | 20 | 0.0070 | 0.0045 | 0.1688 | 5.3 |
| E7 | 6430 | 2140 | 20 | 0.0093 | 0.0040 | 0.2404 | 7.6 |
| E8 | 9640 | 2320 | 10 | 0.0043 | 0.0045 | 0.1870 | 5.9 |
| E9 | 6785 | 2320 | 10 | 0.0043 | 0.0080 | 0.2340 | 7.4 |
| E10 | 8920 | 4640 | 10 | 0.0022 | 0.0100 | 0.1922 | 6.1 |
| E11 | 8930 | 3390 | 10 | 0.0029 | 0.0100 | 0.2634 | 8.3 |
| E12 | 7140 | 1250 | 10 | 0.0080 | 0.0035 | 0.1999 | 6.3 |
| E13 | 7320 | 1430 | 10 | 0.0070 | 0.0035 | 0.1792 | 5.7 |
| E14 | 6785 | 1250 | 10 | 0.0080 | 0.0040 | 0.2171 | 6.8 |
| E15 | 6430 | 1605 | 20 | 0.0125 | 0.0030 | 0.2404 | 7.6 |
| E16 | 7680 | 6605 | 40 | 0.0061 | 0.0045 | 0.2093 | 6.6 |
| E17 | 11070 | 1340 | 40 | 0.0299 | 0.0010 | 0.3304 | 10.4 |
| E18 | 6785 | 1070 | 40 | 0.0374 | 0.0010 | 0.2536 | 8.0 |
| E19 | 7680 | 890 | 10 | 0.0112 | 0.0035 | 0.3020 | 9.5 |
| E20 | 6605 | 1430 | 40 | 0.0280 | 0.0015 | 0.2771 | 8.7 |
| E21 | 8570 | 1160 | 5 | 0.0043 | 0.0040 | 0.1478 | 4.7 |
| E22 | 7500 | 890 | 10 | 0.0112 | 0.0030 | 0.2528 | 8.0 |
| E23 | 7680 | 1605 | 10 | 0.0062 | 0.0030 | 0.1436 | 4.5 |
| E24 | 3215 | 1785 | 10 | 0.0056 | 0.0035 | 0.0630 | 2.0 |
| E25 | 6785 | 980 | 10 | 0.0102 | 0.0035 | 0.2423 | 7.6 |
| E26 | 6430 | 1605 | 10 | 0.0062 | 0.0040 | 0.1602 | 5.1 |
| E27 | 8570 | 1160 | 10 | 0.0086 | 0.0030 | 0.2216 | 7.0 |
| E28 | 9285 | 1965 | 5 | 0.0025 | 0.0040 | 0.0945 | 3.0 |
| E29 | 11430 | 1515 | 5 | 0.0033 | 0.0040 | 0.1509 | 4.8 |
| E30 | 8215 | 1070 | 10 | 0.0093 | 0.0020 | 0.1536 | 4.8 |
| E31 | 5355 | 980 | 10 | 0.0102 | 0.0025 | 0.1366 | 4.3 |
| E32 | 8390 | 1515 | 10 | 0.0075 | 0.0030 | 0.1799 | 5.7 |
| E33 | 8035 | 1340 | 10 | 0.0112 | 0.0020 | 0.1161 | 3.7 |
| E34 | 5180 | 1785 | 20 | 0.0032 | 0.0020 | 0.0514 | 1.6 |
| E35 | 8035 | 6250 | 20 | 0.0037 | 0.0020 | 0.0453 | 1.4 |
| E36 | 6070 | 5355 | 20 | 0.0037 | 0.0020 | 0.0453 | 1.4 |
| E37 | 5890 | 5715 | 20 | 0.0035 | 0.0030 | 0.0618 | 2.0 |
| E38 | 4465 | 1965 | 20 | 0.0102 | 0.0030 | 0.1363 | 4.3 |
| E39 | 7500 | 1515 | 10 | 0.0066 | 0.0020 | 0.0990 | 3.1 |
| E40 | 7140 | 1430 | 10 | 0.0070 | 0.0020 | 0.0999 | 3.1 |
| E41 | 4820 | 2500 | 20 | 0.0080 | 0.0020 | 0.0771 | 2.4 |
| E42 | 5000 | 1160 | 10 | 0.0086 | 0.0025 | 0.1078 | 3.4 |
| E43 | 9110 | 1430 | 10 | 0.0070 | 0.0020 | 0.1274 | 4.0 |
| E44 | 6610 | 1515 | 10 | 0.0066 | 0.0022 | 0.0960 | 3.0 |
| E45 | 10000 | 4640 | 10 | 0.0022 | 0.0035 | 0.0754 | 2.4 |
| E46 | 13390 | 3035 | 10 | 0.0033 | 0.0030 | 0.1324 | 4.2 |
| Total entradas | | | | | | 232.5 | |

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

7.1.3. Recarga inducida (Ri)

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 superficies y láminas de riego por cultivo, se consideró que un 10 % del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga efectiva, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 30 a 80 m en la mayor parte de las áreas agrícolas y la presencia de estratos de permeabilidad media a baja en el subsuelo de estas zonas. De esta manera, considerando que para el uso agrícola se utilizan 1783.9 hm³ anuales, de los cuales 883.9 hm³ son de agua subterránea y 900 hm³ de agua superficial, que en promedio proceden de las presas Francisco Zarco y Lázaro Cárdenas, y que un 10% de éste recarga de manera efectiva al acuífero, se obtiene una recarga incidental por excedentes del riego agrícola de 178.4 hm³ anuales.

Por otra parte, el volumen anual de agua subterránea para uso público-urbano es de 126.4 hm³, tomando en cuenta que existe baja eficiencia en el sistema de la red de abastecimiento de agua potable y que la profundidad al nivel del agua subterránea en la zona conurbana de Torreón, Lerdo y Gómez Palacio es en promedio de 100 m, un 10 % de este volumen recarga de manera efectiva al acuífero a través de las fugas en la red de distribución de agua potable y en el sistema de alcantarillado; el volumen de recarga de este tipo es de 12.6 hm³ anuales.

Por lo tanto: **Ri = 12.6 hm³ anuales**

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre únicamente por bombeo (B). No existen descargas naturales.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es del orden de **1088.5 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, indicada como promedio anual durante el periodo 2000-2015, como se mencionó anteriormente, (figura 6). Con base en ella y valor de rendimiento específico promedio de 0.1, se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 3,760 km², 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
- h**= Valor de la variación piezométrica en el período

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica se pueden observar en la tabla 4. El volumen anual del cambio de almacenamiento es de – **554.4 hm³/año**.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento promedio anual (2010-2015)

| Evolución (m) | Abatimiento medio (m) | Área (km ²) | Sy | $\Delta V(S)$ (hm ³ /año) |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|
| -3 | -3 | 252.7 | 0.1 | -75.8 |
| -2 | -2 | 75.7 | 0.1 | -15.1 |
| -2 a -3 | -2.5 | 906.9 | 0.1 | -226.7 |
| -1 a -2 | -1.5 | 1104.6 | 0.1 | -165.7 |
| 0 a -1 | -0.5 | 1420.1 | 0.1 | -71.0 |
| Área de balance | | 3760.0 | TOTAL | -554.4 |
| Promedio anual | | | | -554.4 |

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, se procedió a evaluar la recarga vertical por lluvia.

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i$$

$$R_v = 1088.5 - 554.4 - 232.5 - 191.0$$

$$R_v = 110.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 110.6 + 232.5 + 191.0 \\ R &= 534.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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:

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

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 **534.1 hm³/año**, de los cuales 343.1 hm³ son recarga natural y 191.0 hm³ 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 Principal-Región Lagunera, no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto, **DNC = 0.0 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 extraídos 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 **683'145,850 m³ anuales**, que corresponde al volumen concesionado de aguas subterráneas que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **20 de febrero de 2020**.

8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 534.1 - 0.0 - 683.145850 \\ \text{DMA} &= -149.045850 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones. Por el contrario, su **déficit** es de **149'045,850 m³ anuales** que se extraen del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1990. Estudio Hidrogeoquímico e Isotópico del Acuífero Granular de la Comarca Lagunera. Realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua, 1992. Actualización del Estudio Geohidrológico de la Comarca Lagunera, Coahuila-Durango. Realizado por Grupo Profesional de Planeación y Proyectos, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 1999. Estudio de Simulación Hidrodinámica del Acuífero de la Comarca Lagunera, Coah-Dgo. Realizado por Ariel Consultores, S.A.

Comisión Nacional del Agua, 2000. Estudio de la Contaminación Difusa del Acuífero de la Comarca Lagunera, Coahuila. Realizado por Servicios de Ingeniería Civil y Geología S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Principal-Región Lagunera.

Comisión Nacional del Agua, 2002. Estudio de Actualización del Conocimiento del Acuífero Piloto Principal-Región Lagunera, Coah-Dgo. Realizado por MORO Ingeniería, S.C.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, 2015. Información Piezométrica e Hidrométrica del Acuífero Principal-Región Lagunera.

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológica-Minera Torreón G13-9. Escala 1:250,000

Servicio Geológico Mexicano, 2008. Carta Geológica-Minera Tlahualilo de Zaragoza G13-6. Escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2012. Carta Geológica-Minera Torreón G13-D25. Escala 1:50,000.