



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO ÁREA METROPOLITANA DE  
MONTERREY (1906), ESTADO DE NUEVO LEÓN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. GENERALIDADES.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| Antecedentes.....   | 2         |
| 1.1. Localización.....  | 2         |
| 1.2. Situación administrativa del acuífero.....               | 4         |
| <b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b> | <b>5</b>  |
| <b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| 3.1 Provincia fisiográfica .....                              | 7         |
| 3.2 Clima .....   | 8         |
| 3.3 Hidrografía.....  | 9         |
| 3.4 Geomorfología.....  | 10        |
| <b>4. GEOLOGÍA.....</b>                                       | <b>11</b> |
| 4.1 Estratigrafía.....  | 13        |
| 4.2 Geología estructural .....                                | 23        |
| 4.3 Geología del subsuelo.....                                | 26        |
| <b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>                                  | <b>27</b> |
| 5.1 Tipo de acuífero.....                                     | 27        |
| 5.2 Parámetros hidráulicos .....                              | 27        |
| 5.3 Piezometría.....  | 28        |
| 5.4 Comportamiento hidráulico.....                            | 28        |
| 5.4.1 Profundidad al nivel estático.....                      | 28        |
| 5.4.2 Elevación del nivel estático.....                       | 29        |
| 5.4.3 Evolución del nivel estático .....                      | 30        |
| 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....      | 31        |
| <b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>       | <b>32</b> |
| <b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>                  | <b>33</b> |
| 7.1 Entradas.....   | 33        |
| 7.1.1 Recarga vertical (Rv).....                              | 34        |
| 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....     | 34        |
| 7.1.3 Recarga incidental (Ri).....                            | 36        |
| 7.2 Salidas .....   | 36        |
| 7.2.1 Bombeo (B).....   | 36        |
| 7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....     | 37        |
| 7.2.3 Descarga natural por manantiales .....                  | 37        |
| 7.2.4 Salida por flujo base (Dfb) .....                       | 37        |
| 7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ) .....            | 37        |
| <b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>                                | <b>39</b> |
| 8.1 Recarga total media anual (R).....                        | 39        |
| 8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....                  | 39        |
| 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....   | 40        |
| 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 40        |
| <b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                  | <b>41</b> |

## **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 Área Metropolitana de Monterrey, definido con la clave 1906 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-occidental del estado de Nuevo León, en el límite con el estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 51' y 25° 49' de latitud norte y entre los meridianos 100° 01' y 100° 32' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 905 km<sup>2</sup> (figura 1).

Limita al norte y este con el acuífero El Carmen-Salinas-Victoria; al sureste con Citrícola Norte; al sur con Cañón del Huajuco; al suroeste con Campo Buenos Aires, al oeste con Campo Durazno y al noroeste con Campo Topo Chico; todos ellos pertenecientes al estado de Nuevo León

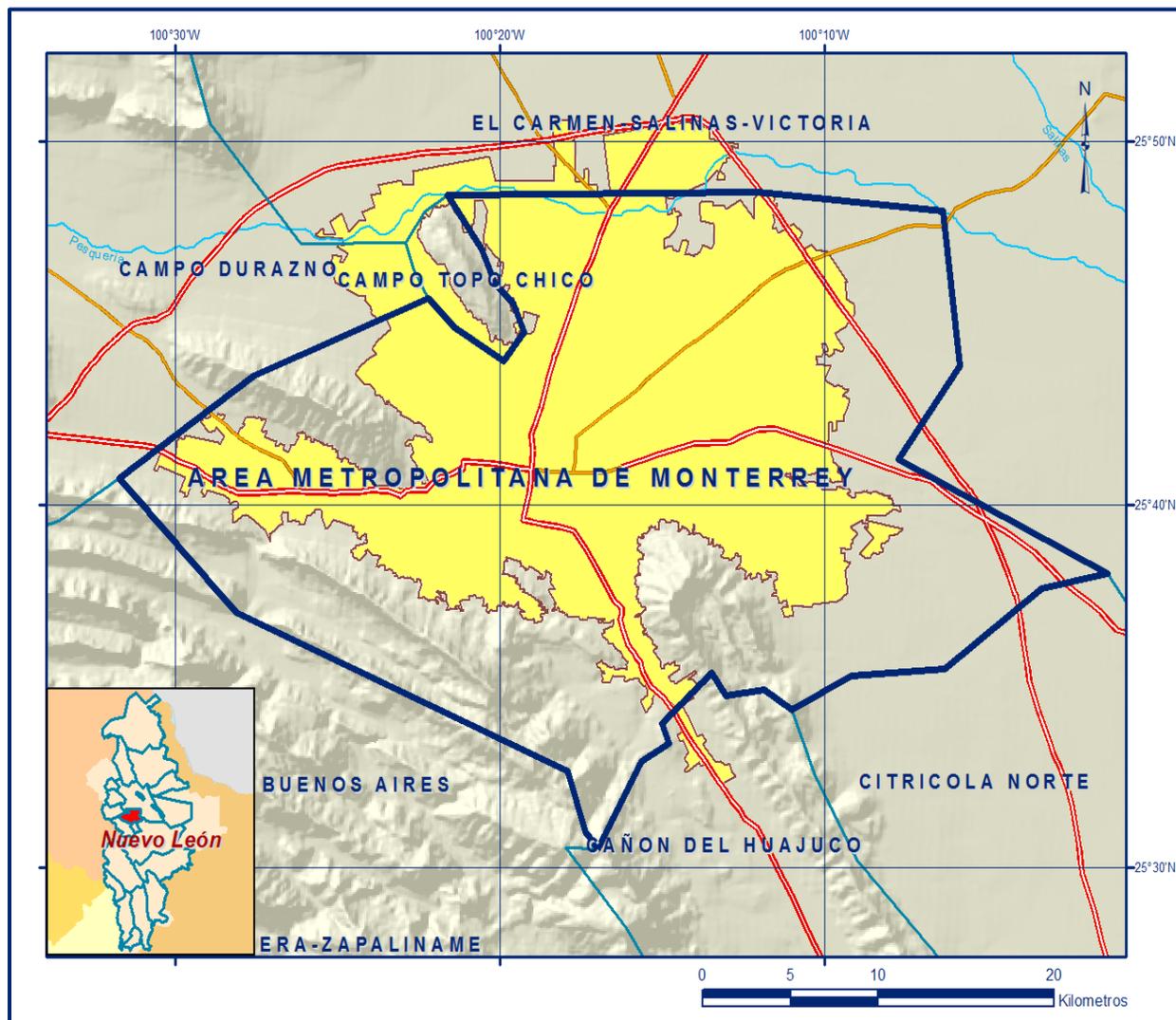


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, comprende la totalidad del municipio de San Pedro Garza García, casi la totalidad Monterrey, San Nicolás de los Garza, Guadalupe, Juárez y Apodaca, así como porciones menores de General Escobedo.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

| ACUIFERO 1906 AREA METROPOLITANA DE MONTERREY |                |         |          |               |         |          |
|---|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|
| VERTICE                                       | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          |
|   | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |
| 1   | 100            | 22      | 11.3     | 25            | 45      | 41.6     |
| 2   | 100            | 21      | 20.4     | 25            | 44      | 51.5     |
| 3   | 100            | 19      | 52.2     | 25            | 43      | 57.1     |
| 4   | 100            | 19      | 15.2     | 25            | 44      | 45.3     |
| 5   | 100            | 19      | 33.8     | 25            | 45      | 32.6     |
| 6   | 100            | 20      | 9.3      | 25            | 46      | 7.8      |
| 7   | 100            | 20      | 34.0     | 25            | 47      | 3.7      |
| 8   | 100            | 21      | 36.7     | 25            | 48      | 31.9     |
| 9   | 100            | 12      | 2.9      | 25            | 48      | 36.4     |
| 10  | 100            | 6       | 21.2     | 25            | 48      | 5.4      |
| 11  | 100            | 5       | 48.9     | 25            | 43      | 49.3     |
| 12  | 100            | 7       | 43.5     | 25            | 41      | 14.3     |
| 13  | 100            | 1       | 16.9     | 25            | 38      | 5.3      |
| 14  | 100            | 3       | 18.5     | 25            | 37      | 41.4     |
| 15  | 100            | 6       | 18.2     | 25            | 35      | 28.5     |
| 16  | 100            | 9       | 10.6     | 25            | 35      | 15.9     |
| 17  | 100            | 11      | 0.1      | 25            | 34      | 21.1     |
| 18  | 100            | 11      | 51.8     | 25            | 34      | 52.9     |
| 19  | 100            | 13      | 1.0      | 25            | 34      | 44.1     |
| 20  | 100            | 13      | 28.7     | 25            | 35      | 21.9     |
| 21  | 100            | 15      | 0.7      | 25            | 33      | 57.5     |
| 22  | 100            | 14      | 46.8     | 25            | 33      | 24.7     |
| 23  | 100            | 15      | 38.4     | 25            | 32      | 54.5     |
| 24  | 100            | 16      | 59.0     | 25            | 30      | 29.9     |
| 25  | 100            | 17      | 21.8     | 25            | 30      | 58.1     |
| 26  | 100            | 17      | 54.9     | 25            | 32      | 38.2     |
| 27  | 100            | 28      | 7.1      | 25            | 37      | 1.7      |
| 28  | 100            | 31      | 42.4     | 25            | 40      | 43.7     |
| 29  | 100            | 27      | 34.3     | 25            | 43      | 32.3     |
| 1   | 100            | 22      | 11.3     | 25            | 45      | 41.6     |

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y al Consejo de Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999. Su territorio se encuentra parcialmente vedado; la mayor parte de su superficie está sujeta a las disposiciones del *“Decreto que establece por tiempo indefinido veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo de terrenos que ocupa y circunda la ciudad de Monterrey, N.L., en la zona que el mismo describe”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 17 de julio de 1951. En la porción norte y noroccidental rige el *“Decreto que amplía la zona vedada para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circunda la ciudad de Monterrey, N.L.”*, publicado en el DOF el 19 de diciembre de 1956. Ambas vedas son tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En la superficie restante de su territorio, que comprende parte de los extremos oriental, nororiental y suroriental, no rige ningún decreto de veda para la extracción de aguas subterráneas.

Sin embargo, 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 12 acuíferos que se indican”, publicado en el Diario Oficial de la Federación 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.

En el extremo sur y suroccidental de la superficie del acuífero se localiza el Monumento Natural “Cerro de la Silla” y el Parque Nacional “Cumbres del Monterrey”, decretados el 24 de septiembre de 1991 y el 17 de noviembre de 2000, respectivamente. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2. El uso principal del agua subterránea es el industrial. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo estudios geohidrológicos de evaluación, algunos de cobertura regional. Entre los más importantes se mencionan los siguientes:

**ESTUDIO INTEGRAL DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE MONTERREY, NUEVO LEÓN Y SU ÁREA METROPOLITANA. Realizado en 1992 por TGC Geotecnia S.A. de C.V., para la Comisión de Agua Potable y Drenaje de Monterrey,** Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey. Entre sus actividades más importantes destacan la piezometría y análisis de comportamiento de los niveles estáticos, muestreo de agua subterránea, análisis hidrogeoquímico, realización de pruebas de bombeo, definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero y elaboración del balance de aguas subterráneas. Concluye que la salinidad del agua varía de 140 a 420 ppm de STD y que la recarga que recibió el acuífero alojado en calizas, que se comporta como semiconfinado y presenta fluctuaciones durante los periodos de estiaje y lluvia, fue superior a la extracción en el periodo analizado.

**INTEGRACIÓN DEL INVENTARIO DE CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA Y ACTIVIDADES DE CARÁCTER GEOHIDROLÓGICO EN EL ACUÍFERO ÁREA METROPOLITANA, EN MONTERREY, NUEVO LEÓN. Realizado en 1997 por Hidrosistemas Universales, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua.** Los objetivos principales del estudio estuvieron orientados a integrar un inventario de captaciones de agua subterránea, así como conocer con mayor detalle el espesor de los rellenos granulares de los subálveos de los principales ríos y arroyos que cruzan la zona y conocer la calidad química del agua subterránea que es una fuente importante del recurso para la ciudad de Monterrey.

**ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LOS ACUÍFEROS CUAUHTÉMOC, CHIHUAHUA Y ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY NUEVO LEÓN. Realizado en 1998 por Consultores en Agua Subterránea, S.A. para la Comisión Nacional del Agua.** Incluye, además del modelo numérico de simulación, la actualización del censo de aprovechamientos, ejecución e interpretación de pruebas de bombeo, modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, balance de aguas subterráneas y la aplicación de geoestadística para el diseño óptimo de una red de pozos de observación y monitoreo.

**REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE: ZONA CITRÍCOLA NORTE, ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY Y NAVIDAD-POTOSÍ-RAÍCES, ESTADO DE NUEVO LEÓN, Realizado en 2002 por Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V, para la Comisión Nacional del Agua.** Define una red de monitoreo para la obtención de información hidrogeológica y piezométrica de estos acuíferos, para determinar su evolución en el tiempo como resultado de las variables que intervienen en el proceso de recarga y descarga y conocer su condición actual en cuanto a niveles del agua subterránea.

**ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS 1906 ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY; 1912 CITRÍCOLA NORTE; 1916 NAVIDAD.POTOSÍ-RAÍCES, EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN. Realizado en 2014 por Moro Ingeniería, S.C., para la Comisión Nacional del Agua.** El estudio tuvo como objetivo general actualizar el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible actualizar el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. La información hidrogeológica de este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en dos Provincias Fisiográficas: la porción sur y suroriental pertenece a la Sierra Madre Oriental y la región centro y norte se ubican en la Planicie Costera del Golfo de México.

Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI,1989), el acuífero se localiza en las Provincias Fisiográficas Sierra Madre Oriental, Subprovincias Gran Sierra Plegada y Sierras y Llanuras Coahuilenses; y Llanura Costera del Golfo Norte, Subprovincia Llanuras y Lomeríos.

La Sierra Madre Oriental representa una franja alargada orientada en sentido noroeste-sureste, desde Chihuahua-Coahuila hasta el Istmo de Tehuantepec, que presenta una flexión con orientación este-oeste entre Torreón y Monterrey; está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en su centro. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados.

La Subprovincia Gran Sierra Plegada está representada por sistemas de topofomas integradas por sierras plegadas y sierras complejas (pliegues y fallas), pero en ella también existen bajadas, lomeríos, mesetas, llanuras y valles.

La Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses está constituida por sierras de rocas calizas plegadas, con pendientes escarpadas la mayoría de ejes orientados de noroeste a sureste. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con las crestas erosionadas.

La Llanura Costera del Golfo es una larga franja que recorre este litoral desde la desembocadura del río Bravo y sólo es interrumpida en esta región del país por la Sierra de Pamoranés y la Sierra de San Carlos; es recorrida por numerosos ríos como el Bravo, Soto-La Marina, Tamesí y Pánuco. La Subprovincia Llanuras y Lomeríos se caracteriza, como su nombre lo indica, por sus extensas llanuras interrumpidas por lomeríos, en los que los materiales dominantes son sedimentos arcillosos y arenosos, de edades que decrecen hacia la costa, del Cretácico al Terciario. Sin embargo, en la porción norte de Tamaulipas existen importantes afloramientos de rocas basálticas, en forma de extensas coladas de lava que presentan morfología general de mesetas y otras forman pequeños lomeríos.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en el área que comprende el acuífero se presentan dos tipos de clima: en la parte alta y media de la mitad occidental, dominan los climas secos, claves BSok(x') y BS1k(x'); seco templado el primero y semiseco templado el segundo, ambos con lluvias escasas todo el año y precipitación invernal mayor al 18 %.

El clima seco estepario (BS), que corresponde con el más seco de este tipo de climas, subtipo semiseco (1), con grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura). Su condición de temperatura (k), que es una característica establecida considerando las temperaturas medias anual del mes más frío y del más cálido, templado con verano cálido.

Estos climas presentan lluvias en verano y un porcentaje de lluvias de invierno de entre 5 y 10.2 %. La parte baja que ocupa el sector oriental, presenta un clima que pertenece al grupo de los cálidos, con claves (A)Cx' y A(C)w0; ambos son semicálidos subhúmedos, con lluvias escasas todo el año y lluvias en verano de menor humedad, respectivamente, y con variación en cuanto al porcentaje de lluvia en invierno.

En casi la totalidad de la superficie del acuífero, el clima se presenta la condición de canícula o sequía de medio verano, en la que existe una temporada menos lluviosa dentro de la estación de lluvias. Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 6 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: Arroyo Seco, La Huasteca, Mitras, Monterrey, Monterrey Observatorio y Santa Catarina, cuyo registro comprende el periodo 1995-2013. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **588.9 mm, 22.3 °C y 1839.7 mm**, respectivamente.

### **3.3 Hidrografía**

El área que cubre el acuífero se encuentra ubicada en su totalidad dentro de la Región Hidrológica 24 “Bravo-Conchos”, Subregión Hidrológica “Río San Juan”, cuenca “Río Bravo-San Juan”, subcuencas “Río Monterrey” y “Río Pesquería”. La Región Hidrológica corresponde a la Vertiente Oriental o del Golfo de México; que limita al este y al sur con la Región Hidrológica No. 25, de los ríos San Fernando y Soto la Marina, pertenecientes a la misma vertiente.

La hidrografía de la superficie comprendida por el acuífero se compone principalmente de dos ríos principales, Pesquería y San Juan, que se unen aguas abajo de la Presa El Cuchillo, ubicada en la zona de China, N.L. Esta zona se ubica en la porción media de las subcuencas mencionadas; de esta manera, reciben aportaciones de sus partes altas y drenan hacia la amplia planicie que se extiende hacia el noreste de toda la zona urbana de Monterrey y su área metropolitana.

La porción norte del acuífero corresponde a la subcuenca del Río Pesquería que integra el agua de los ríos Sabinal, Ramos y Topo Chico, así como al drenaje de parte de la ciudad; fluye en sentido al este y noreste hasta la confluencia mencionada; en tanto que la zona sur es parte de la subcuenca Río Monterrey, que integra a los ríos Santa Catarina, La Silla y las excedencias de la Presa La Boca, para formar el Río San Juan, que alimenta a la Presa El Cuchillo, importante obra que participa en el abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Monterrey. Aguas abajo de la Presa El Cuchillo, el Río San Juan escurre por la planicie tamaulipeca hacia la Presa Marte R. Gómez (El Azúcar), ubicada cerca de Camargo, cuyas excedencias descargan en la margen derecha del caudaloso Río Bravo o Grande, límite internacional, en un tramo entre las poblaciones de Ciudad Alemán y Reynosa, Tamaulipas.

### **3.4 Geomorfología**

El acuífero se localiza al noreste de la Curvatura de Monterrey (Padilla, 1985). El relieve de esta región está ligado a una evolución tectónica muy compleja, la cual dio como resultado estructuras intensamente plegadas de rocas sedimentarias del Jurásico Superior (Formación Olvido) y del Cretácico (formaciones La Casita, Taraises, Cupido, La Peña, Cuesta del Cura y Agua Nueva o Indidura).

En esta secuencia sedimentaria son comunes los pliegues recostados, las cabalgaduras y en algunos lugares estructuras en forma de diapiros. En conjunto el relieve se caracteriza por una serie de cadenas montañosas, valles intermontanos y depresiones cársticas, cuya dirección predominante es noroeste-sureste.

En la porción suroccidental y occidental del acuífero se localiza la Sierra Madre Oriental en la que las sierras altas se caracterizan por la presencia de una compleja cadena montañosa, formando anticlinales y sinclinales recostados, con orientación NNW-SSE y elevaciones máximas de 2,800 msnm.

La superficie restante que comprende las regiones centro, norte y oriental, se ubican en la Planicie Costera del Golfo de México y en ella se describen marcados contrastes entre valles aluviales y vastas llanuras de forma ondulante que se caracterizan por presentar una serie de mesetas orientadas SW-NE, generalmente coronadas por depósitos aluviales del Cuaternario y por el Conglomerado Reynosa, que yace encima de las lutitas de la Formación Méndez. Las mesetas están separadas por valles orientados en la misma dirección rellenos principalmente por los depósitos aluviales en los que labraron el cauce de los ríos y arroyos. En la superficie del acuífero es posible diferenciar 4 unidades geomorfológicas: Sierras Plegadas, Cerros Asilados, Lomeríos y Planicie Aluvial.

Las Sierras Plegadas están constituidas por las calizas, lutitas y areniscas de las formaciones Zuloaga, La Casita, Cupido, La Peña, Aurora, Cuesta del Cura e Indidura, que forman las sierras La Silla, Las Mitras, El Fraile, San Miguel, Santa Catarina, El Caballo, El Cedral y Cerro el Topo.

Presentan un relieve alto, con elevaciones de 600 a 2800 msnm; drenaje paralelo a subparalelo con corrientes de tercer, cuarto y quinto orden, que son controlados por el fracturamiento.

Los Cerros Aislados presentan relieve medio con elevaciones de 600 a 700 msnm, constituidos por lutitas y calizas arcillosas de las formaciones San Felipe/Parras y Méndez; presentan drenaje paralelo a subparalelo con corrientes de segundo y tercer orden, también controlados por el fracturamiento y la pendiente; conforman Las Lomas Agua Dulce, Larga, La Cruz y algunos cerros sin nombre.

La unidad de Lomeríos se localiza en los valles ubicados entre las sierras y sus estribaciones, está conformada por depósitos aluviales, conglomerados y lutitas que constituyen los depósitos de abanicos aluviales, el Conglomerado Reynosa y las formaciones San Felipe/Parras y Méndez. Su relieve es bajo, con elevaciones de 350 a 900 msnm, que presenta un drenaje paralelo a subparalelo con corrientes de segundo y tercer orden controlado por la litología y la pendiente.

Por último, las planicies aluviales se localizan en los cauces y márgenes de río y arroyos, están constituidas por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría que varía de gravas, arenas y arcillas, que conforman un relieve plano con elevaciones de 350 a 750 msnm; el drenaje que presenta es paralelo a subparalelo con corrientes de primer y segundo orden, controlado por la litología y la pendiente.

#### **4. GEOLOGÍA**

La geología general que aflora en la zona que comprende el acuífero está constituida por un gran paquete de material aluvial y rocas sedimentarias principalmente calcáreas, cuya distribución geográfica se muestra en la figura 2

Regionalmente las rocas más antiguas han sido asignadas a la Formación Huizachal, del Triásico Tardío. El Jurásico Superior está representado en las inmediaciones de Galeana, N.L., donde aflora una secuencia de yesos, calizas dolomíticas y anhidritas correspondientes a la Formación Olvido del Oxfordiano-Kimmeridgiano, que se encuentran en contacto discordante con la Formación Huizachal y hacia su cima yace concordantemente con la Formación La Casita, la cual cambia lateralmente de facies con la Formación Zuloaga.

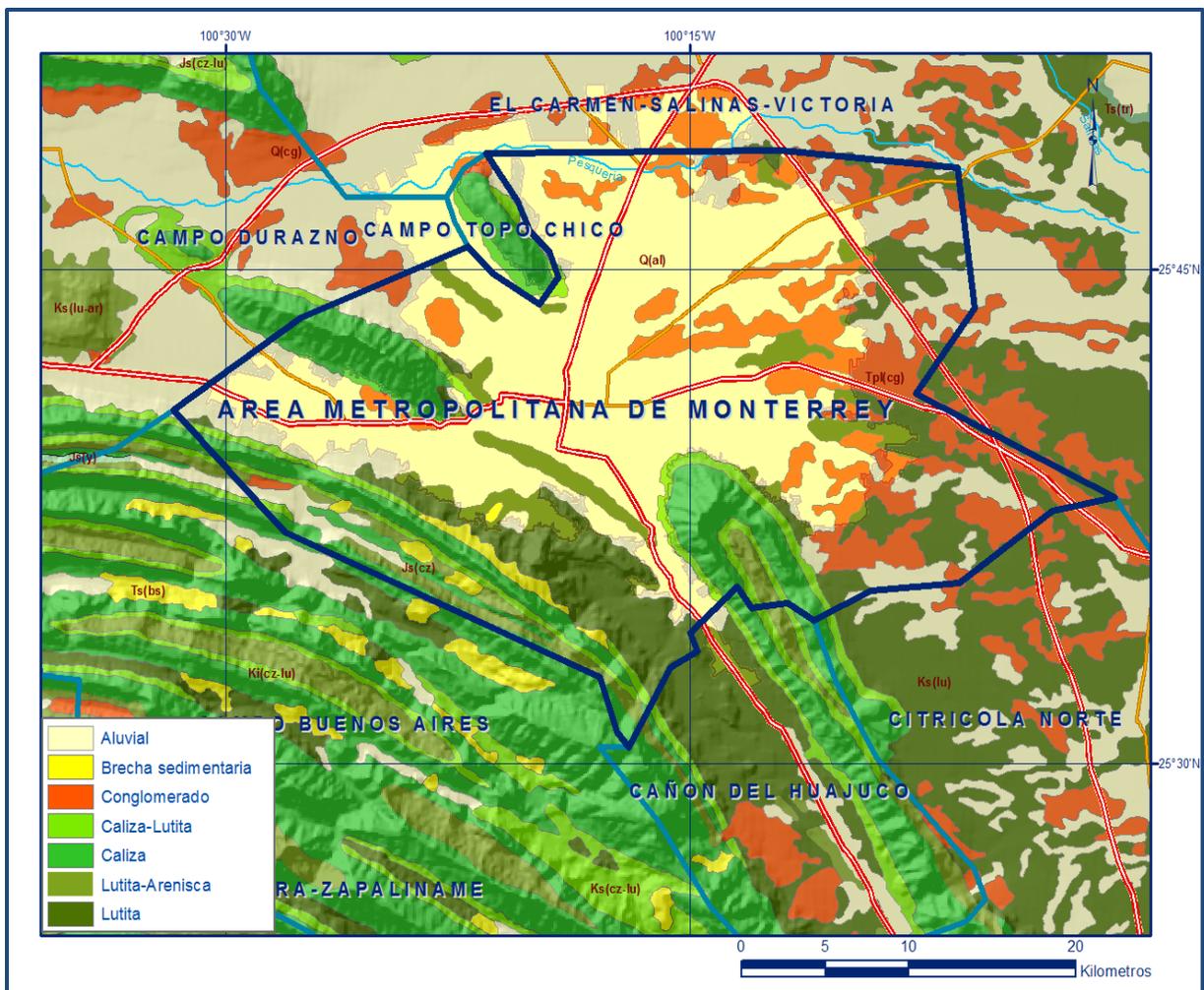


Figura 2. Geología general del acuífero

El Cretácico está representado por los sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Taraises del Berriasiano al Hauteriviano, que afloran de manera aislada. Subyace concordantemente a la Formación Cupido y cambia lateralmente de facies en el Berriasiano con lutitas y areniscas de la Formación Carbonera.

Del Hauteriviano Tardío al Aptiano Temprano se depositaron calizas de la Formación Cupido, que aflora por toda la zona; subyace concordantemente a calizas y lutitas de la Formación La Peña del Aptiano, ésta a su vez subyace transicional y concordantemente a calizas arrecifales de la Formación Aurora, la cual es correlacionable con la Formación Cuesta del Cura del Albiano-Cenomaniano (calizas-lutitas); hacia su cima se encuentra en contacto con la Formación Indidura del Cretácico Superior y en la región de Galeana, N.L. con la Formación Agua Nueva.

Durante el Cenomaniano Tardío al Turoniano se depositaron sedimentos arcillo calcáreos de la Formación Indidura (posiblemente su rango sea hasta el Santoniano), los cuales cambian gradualmente a sedimentos calcáreo-arcillosos de la Formación Agua Nueva.

En el Coniaciano-Santoniano se depositaron sedimentos areno-arcillosos de la Formación Caracol que mediante un cambio lateral de facies pasa a una secuencia de lutitas y calizas de la Formación San Felipe.

La Formación Parras está constituida por lutitas y areniscas, su cambio a la Formación Caracol es transicional, esta unidad es correlacionable en la región de Galeana, N. L. con la Formación Méndez.

El Terciario Inferior está representado por un conglomerado polimíctico con areniscas. Durante el Neógeno se acumularon conglomerados polimícticos y oligomícticos mal consolidados; hacia los valles se depositaron materiales coluviales y aluviales y en donde las condiciones lo permitieron, depósitos lacustres y travertinos.

#### **4.1 Estratigrafía**

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende edades que varían del Triásico al Reciente (figura 2), distribuidas en la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, aunque no afloran todas las unidades a nivel regional, a continuación, se describen de la más antigua a la más reciente:

#### **TRIÁSICO**

##### **Formación Huizachal**

Son las rocas más antiguas que afloran en algunas regiones de la “Curvatura de Monterrey”, que fueron asignadas al Triásico Tardío. Constituye una serie vulcanosedimentaria conformada por lavas interestratificadas con tobas, lutitas, areniscas y conglomerados que en el área del acuífero está representada por una secuencia sedimentaria dominada por limolitas y un conglomerado polimíctico de coloración rojiza con clastos de rocas andesíticas y riolíticas.

La unidad consiste principalmente de lechos rojos, más finos hacia la base y más gruesos hacia la cima, que representan depósitos netamente continentales. Estas rocas han sido interpretadas como resultado de la erosión de horsts formados en el Mesozoico Temprano.

## **JURÁSICO SUPERIOR**

### **Formación Minas Viejas**

Nombre propuesto por Imlay (1938) y Humphrey (1956) para referirse a las rocas sedimentarias contenidas en el Golfo Jurásico de Sabinas, que afloran en el anticlinal Minas Viejas, localizado aproximadamente a 40 km al norte de Monterrey. Está constituida por una secuencia de evaporitas (anhidrita, yeso, halita, etc.) con intercalaciones aisladas y delgadas de lutitas, areniscas y calizas de 10 a 30 cm de espesor. Las lutitas son de color pardo principalmente y las areniscas de color gris, de grano fino a medio, ocasionalmente conglomeráticas.

### **Formación Olvido**

Constituida por yesos y dolomías intercalados con horizontes delgados de lutitas que conforman el núcleo de los anticlinales del área. Esta formación subyace concordantemente a la Formación La Casita y sobreyace en discordancia tectónica a la Formación Huizachal. Se le ha asignado una edad del Oxfordiano-Argoviano. Su espesor promedio alcanza hasta 250 m

### **Formación Zuloaga**

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

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

La parte superior está constituida por caliza masiva de color gris, que se caracteriza por presentar estilolitas de gran amplitud y algunos horizontes donde se presentan pequeños nódulos de pedernal de color negro. Se correlaciona con la Formación Olvido, pero a diferencia de esta última no presenta yesos. Su espesor aproximado es del orden de 500 m.

### **Formación La Gloria**

Fue propuesta por Imlay en 1936 en su localidad tipo que es el Cañón del Mimbres, ubicado aproximadamente a 35.2 km al E-SE de Parras, Coahuila. Se caracteriza por estar conformada por areniscas y conglomerados, aunque principalmente consiste de calizas dispuestas en capas que varían de gruesas a medianas. Se correlaciona también con la Formación Zuloaga ya que representa su cambio de facies en la porción norte del sector transversal o "Curvatura de Monterrey" en donde subyace a las formaciones La Caja y La Casita; presenta yeso, caliza y horizontes de arenisca. Por su contenido faunístico y posición estratigráfica, Kellum (1932) estableció que se desarrolló durante parte del Jurásico Superior, comprendiendo en su totalidad al piso Oxfordiano.

Su distribución geográfica, composición y contenido fósil, indican un depósito marginal de aguas someras. Los cambios de facies de este depósito litoral varían de clásticos conglomeráticos y arenas de playa, a calizas dolomíticas, con desarrollos arrecifales en las zonas más profundas y a yeso o lutitas yesíferas en lagunas costeras o cuencas intercratónicas de poca circulación y profundidad.

### **Formación La Casita**

El término fue designado por Imlay (1936) para referirse a los sedimentos de aguas someras del Jurásico Superior limitados en la parte inferior por la Formación La Gloria del Jurásico Superior o Zuloaga y arriba por la Formación Taraises. Su localidad tipo se localiza en el Cañón La Casita, ubicado aproximadamente a 16 km al sur del poblado General Cepeda, Coahuila y a 50 km al SE de Saltillo (Imlay, 1937), en la cual su litología consiste de 60 m de lutitas que presentan colores que varían de gris oscuro a negro, físis e interestratificadas con delgadas capas de calizas y areniscas de color amarillento.

Aflora extensamente en las porciones norte y oriente de la Curvatura de Monterrey y consiste principalmente, de la base a la cima, de conglomerados gruesos con fragmentos redondeados de cuarzo, esquistos y granitos, en una matriz de arenisca de grano grueso; esta litología cambia transicionalmente hacia arriba, a areniscas de grano más fino con intercalaciones de limolitas, para finalizar en su parte más alta, con lutitas y limolitas muy fosilíferas. Lateralmente, y aunque no aflora en el área, esta formación cambia a la Formación La Caja, la cual tiene una mayor homogeneidad en su litología; consistente de calizas, lutitas y limolitas intercaladas.

El contacto inferior de la Formación La Casita con la Formación Zuloaga es concordante y su contacto superior con la Formación Taraises también es concordante y marcado litológicamente por el término de las lutitas de color rosado con concreciones calcáreas y el inicio de calizas de estratos medios en la Formación Taraises; se observa a distancia porque la Formación Taraises forma morros (escarpes) y La Casita no. Ambos contactos se aprecian con facilidad en las fotografías aéreas. La estratigrafía cambia al sur a la Formación La Caja. De las formaciones jurásicas La Casita es la que tiene mayores afloramientos en el área Torreón-Monterrey. De acuerdo con su posición estratigráfica y su contenido faunístico, se le asigna una edad correspondiente al Kimmeridgiano-Tithoniano y se correlaciona con las formaciones Pimienta y Tamán de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación La Caja del norte-centro de México.

### **Formación La Caja**

Definida formalmente por Imlay (1938), designando como localidad tipo a la Vereda del Quemado, situada en el flanco meridional de la Sierra La Caja, localizada al norte de Mazapil, Zacatecas. Tiene amplia distribución en la región norte del centro de México. Consiste en capas delgadas de calizas margosas con pedernal, fosforitas, alternando con limolitas y areniscas bituminosas, que se hacen progresivamente más finas hacia la cima. Aflora en la mayoría de las sierras plegadas, generalmente en estrechas bandas paralelas que limitan a la Formación Zuloaga en los núcleos anticlinales.

Debido a que es poco resistente a los agentes erosivos, frecuentemente se caracteriza porque en ella se desarrollan puertos y valles, que se alargan paralelamente al rumbo de las capas. A menudo se encuentra enmascarada por una pequeña cobertura aluvial, su espesor es del orden de 100 m. Sus contactos inferior y superior son concordantes con las formaciones Zuloaga y Taraises, respectivamente. Aflora en la porción sur de la región Torreón-Monterrey.

## **CRETÁCICO INFERIOR**

### **Formación Taraises**

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

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

En las partes altas de las montañas plegadas que forma, las capas de caliza son de espesor mediano a grueso, densas y de color gris claro a oscuro. La limolita que contiene se presenta intercalada en proporciones variables.

La Formación Taraises es un depósito que se llevó a cabo en aguas relativamente profundas, alcanza un espesor aproximado de 150 m. Aflora en forma de franjas delgadas de poco espesor en las sierras plegadas ubicadas principalmente en la porción norte del acuífero, cuyos contactos, inferior y superior son concordantes con las formaciones La Caja y Cupido respectivamente.

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

### **Formación Cupido**

Término definido por Imlay para una sección calcárea que descansa sobre la Formación Taraises y subyace a la Formación La Peña, cuya localidad tipo es la pared norte del Cañón del Mimbres, localizado en la porción media de la Sierra de Parras, aproximadamente a 60 km al SE de la población del mismo nombre, en el estado de Coahuila.

Está representada por rocas muy resistentes y homogéneas constituidas principalmente por calizas de estratificación mediana a gruesa de coloración gris claro, que presentan concreciones de pirita, lentes y nódulos de pedernal color gris y estilolitas; en algunas localidades con intercalaciones de limolitas calcáreas y en menor proporción lutitas. Sus mejores afloramientos se localizan en el Cañón Mimbres de la porción media de la Sierra de Parras, en Coahuila. Tiene amplia distribución en las sierras de los límites oriente y poniente del acuífero, así como en algunas de la porción central.

Presentan fracturamiento y desarrollo de los procesos cársticos, por lo que es una de las unidades calcáreas más importantes desde el punto de vista hidrogeológico. El contacto inferior con la Formación Taraises es nítido y concordante, el superior con la Formación La Peña es brusco y concordante.

En el área estudiada no se observaron cambios de facies. Su edad corresponde a la parte final del Hauteriviano al Aptiano Inferior y se correlaciona con la porción superior de la Formación Tamaulipas Inferior de la Cuenca Tampico-Misantla.

En la Cuenca de Chihuahua se correlaciona con la porción superior de la Formación Las Vigas, con la base de la Formación Cuchillo y en el centro de Texas con la Formación Sligo.

### **Formación La Peña**

El nombre fue introducido por Imlay (1936) para distinguir a un cuerpo compuesto por dos miembros: El inferior constituido por calizas y el superior por lutitas y calizas, que estratigráficamente se ubica entre la Caliza Cupido y la Caliza Aurora.

Su localidad tipo se ubica en el flanco norte de la Sierra de Taraises, a 4.8 km al E-SE de la Hacienda La Peña, localizada en el extremo sur del estado de Coahuila.

Se describe como un grupo de estratos calcáreo arcillosos, cuya base comienza como una secuencia de calizas de estratificación delgada de color gris claro y continúa en la parte media con calizas que presentan cantidades variables de arcilla deleznable, de color amarillento y gris, con abundante pirita en las calizas y lentes pequeños de sílice blanca. En la cima se observa una alternancia entre caliza arcillosa, con caliza micrítica con bandas y lentes de pedernal negro y estratificación ondulada.

Por su naturaleza arcillosa, es fácilmente erosionable y constituye un horizonte índice ya que su identificación resulta sencilla al formar depresiones entre las calizas más resistentes de la Formación Cupido.

Sus afloramientos en el área del acuífero representan franjas de espesor reducido, asociadas a la Formación Cupido, a la cual sobreyace concordantemente. A su vez, es cubierta concordantemente por la Formación Cuesta del Cura. Su espesor promedio es de 60 m.

Se correlaciona con el horizonte Otates de la Cuenca Tampico-Misantla, con la Formación Cuchillo en la Cuenca de Chihuahua y con la Formación Las Uvas del área de Acatita-Las Delicias, Coahuila.

### **Formación Aurora**

Humphrey (1956) propuso que el término Formación Aurora fuera modificado para incluir todas las rocas carbonatadas del NE de México ubicadas estratigráficamente entre la Formación La Peña o sus equivalentes, abajo, y la Formación Cuesta del Cura y otros equivalentes del Grupo Washita o la Formación Kiamichi arriba. Está representada por calizas de aguas profundas (mudstone y wackstone), de estratificación mediana a gruesa, en ocasiones masiva con nódulos de pedernal y en otras con delgadas capas del mismo material, que aflora en gran parte de la región ubicada entre Torreón y Monterrey. Sus contactos inferior y superior con las formaciones La Peña y Cuesta del Cura, respectivamente, son nítidos y concordantes. Por su posición estratigráfica 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.

### **Formación Cuesta del Cura**

Imlay (1936) describió por primera vez la Caliza Cuesta del Cura, de acuerdo con los afloramientos de calizas delgadas ondulantes con bandas de pedernal negro que afloran a 6.4 km al W de Parras, Coahuila, área en donde esta unidad se encuentra entre la Caliza Aurora y la Formación Indidura.

Se distribuye en los anticlinales de Parras, Taraises, Prieta y Santiago, al SE de Torreón, pero aflora ampliamente en casi toda la zona Torreón-Monterrey, aunque con espesores menores de 300 m. Su litología consiste principalmente de capas medianas a delgadas y onduladas de caliza de color gris a negra, compacta y un poco arcillosa. Contiene además nódulos, lentes y bandas de pedernal negro, ocupa generalmente las partes bajas de las sierras, aflorando como una banda de lomeríos alineados.

Sus contactos inferior y superior con las formaciones Aurora e Indidura, respectivamente, son concordantes y bruscos. Por su contenido faunístico fósil, su edad abarca desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano Inferior. Se correlaciona con las formaciones Tamaulipas Superior y El Abra de la Cuenca Tampico-Misantla; y la porción inferior de la Formación Kiamichi, Grupo Washita, Indiferenciado del NE de México y oriente de Texas, con la con la Formación Doctor en el centro México y La Formación Acatita, en el área de Delicias, Chihuahua.

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **Formación Indidura**

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

Generalmente aflora en las laderas de las sierras; consiste principalmente de dos series diferentes que están formadas en la parte inferior, de caliza arcillosa dispuesta en capas delgadas y lajeadas, con numerosas capas medianas o gruesas de caliza laminar color gris oscuro y de limolita calcárea que es de color amarillento.

La parte superior está formada de una lutita gris muy homogénea, fácilmente erosionable, que en la parte más alta, casi en contacto con la Formación Caracol, presenta un cambio de facies a una lutita arenosa. Sobreyace por medio de un contacto concordante y abrupto a la Formación Cuesta del Cura, solo identificado por el incremento de sedimentos pelíticos y la ausencia de pedernal.

Su espesor promedio es de 200 m; se correlaciona con la Formación Soyatal de la Cuenca Mesozoica del centro de México, con la Formación Mezcala del Sur de México y con La Formación Agua Nueva de la Plataforma Valles-San Luis Potosí.

### **Formación Agua Nueva**

Nombre introducido por Stephenson (1921) y después por Muir, J. M. (1936) para referirse a los sedimentos que descansan directamente sobre la Formación Tamaulipas Superior. Se distinguen dos unidades; la inferior consiste de capas de estratificación gruesa a media (hasta 0.70 m.), que contienen laminaciones de lutita negra quebradiza.

La parte media de la sección es más arcillosa, dispuesta en delgadas capas de carácter laminar, en la que las lutitas negras contienen impresiones de *Inoceramus Labiatus*. La parte superior muestra graduación a rocas de la Formación San Felipe y consiste de calizas de estratificación media y delgada. El espesor de la sección tipo es de 127 m. Se correlaciona con la Formación Indidura del NE de México y con la Formación Eagle Ford en el NE de México.

### **Formación San Felipe**

Esta formación fue descrita inicialmente por Jeffreys en 1910, en su localidad tipo de la ranchería de San Felipe, San Luis Potosí, ubicada a 6 km al este de Ciudad Valles, donde consiste de calizas arcillosas de colores gris claro y verde, con frecuentes intercalaciones de lutitas bentoníticas de colores verde y gris claro. Son típicos los intervalos de calizas moteadas con manchas ovaladas oscuras que pueden ser debidas a la presencia de algas.

Está constituida por una secuencia rítmica de calizas arcillosas de color gris claro y lutitas calcáreas color café. que presentan intercalaciones de calizas arcillosas, margas de color gris y verde, así como bentonita, que hacia su cima desaparece la presencia de estratos calcáreos. Subyace a la Formación Méndez cuyo contacto es transicional y sobreyace a la Formación Agua Nueva en forma concordante.

Sus aforamientos presentan una gran área de exposición sobre el flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, en forma de una serie de pequeños anticlinales y sinclinales, así como en el flanco poniente de la sierra de Tamaulipas.

Su espesor promedio es de 130 m y se correlaciona con las formaciones Parras en el estado de Coahuila, Tamasopo de la Plataforma Valles-San Luis Potosí e Indidura de la cuenca del Centro de México.

### **Formación Parras**

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

Al intemperismo muestran un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lapiaz, destruye los planos de estratificación. Se considera que la potencia de la secuencia arcillo-calcárea varía de 400 a 800 m y cubre de manera concordante y transicional a la Formación Indidura, por lo que es difícil precisar la zona de contacto entre ambas unidades. Su contacto superior, dentro de los límites del acuífero, es con los sedimentos continentales del Reciente por medio de discordancia angular. Esta formación junto con el Grupo Difunta, corresponde a los sedimentos terrígenos característicos de la Cuenca de Parras. Tiene una edad Santoniano-Coniaciano y se correlaciona con la Formación San Felipe de la Sierra Madre Oriental y de la Cuenca de Sabinas.

### **Formación Méndez**

Definida por Jeffreys en 1910, es el nombre que se utilizó para describir a una serie de lutitas calcáreas de colores gris y café con fractura nodular, que sobreyace a la Formación San Felipe. Su localidad tipo se ubica sobre el km 62 de la vía del ferrocarril Tampico-San Luis Potosí, a 300 m al este de la estación Méndez.

Está constituida por una serie de lutitas calcáreas de colores gris azulado y café, con fractura nodular y concoidal, con aislados estratos de areniscas de grano fino color café, que cubren discordantemente a los conglomerados y depósitos aluviales. Su fracturamiento es típico por el intemperismo, produciéndose un intenso lajamiento y pizarrosidad, que da origen a montículos con apariencia de dunas, subyace discordantemente a los conglomerados y/o depósitos aluviales. Su espesor promedio es de 300 m. En la Cuenca de Parras se correlaciona con el Grupo Difunta.

## **CENOZOICO**

### **Conglomerado Reynosa**

Está compuesto por fragmentos redondeados a subredondeados de clásticos de rocas calcáreas de tamaño promedio de 5 a 12 cm de diámetro, empacados en una matriz arenosa cementada por caliche.

Constituye las mesetas y lomeríos de la Llanura Linares-Montemorelos, aunque predomina en la porción sur central, así como al pie de la Sierra Madre Oriental. Corona las formaciones del Cretácico, particularmente sobreyace discordantemente a la Formación Méndez.

Sobresale también por encima de los depósitos aluviales del Cuaternario, sin embargo, por su posición estratigráfica se ubica debajo de los depósitos aluviales. Su espesor alcanza los 60 m en la porción sur de la región, en las cercanías del poblado Montemorelos.

## **CUATERNARIO**

### **Aluvión**

Está constituido por gravas, arena, limos y arcillas, mezclados en diferentes proporciones y grados de compactación. Contienen lentes de conglomerados empacados en arenas y arcillas, depósitos areno-limosos y horizontes de caliche.

En ocasiones presenta yeso variedad “rosa del desierto”, que puede encontrarse con un alto contenido de arcilla con propiedades plásticas. Aflora en la mayor parte de la zona, formando las planicies con ligeras ondulaciones y el relleno de los valles fluviales entre las mesetas de Conglomerado Reynosa, en donde presenta los mayores espesores. Sobreyace al Conglomerado Reynosa y cubre discordantemente a formaciones del Cretácico particularmente a la Formación Méndez. Forma también los abanicos aluviales que se han desarrollado en el borde oriental de la Sierra Madre Oriental.

## **4.2 Geología estructural**

Las estructuras presentes en la región se dividen en seis grandes zonas: Zona Centro-Oriental (Curvatura de Monterrey), con pliegues simétricos cuyos planos axiales son casi verticales, zonas de transferencia, fallas, cabalgaduras y bifurcación de estructuras.

Zona Norte-Oriental (Isla de San Carlos), constituida por un anticlinal simétrico en sus extremos, recostado en su porción central y afectado por una cabalgadura con vergencia al NE. Zona Centro-Norte (Golfo de Sabinas), conformada por una serie alineada de pliegues, anticlinales y sinclinales orientados preferentemente al NW-SE. Zona Centro-Occidental (Cuenca de Parras) en la que las estructuras dominantes son sinclinales simétricos con orientación sensiblemente paralela al frente (Napa de Parras) de la Sierra Madre Oriental.

Zona Norte-Occidental (Isla de Coahuila), caracterizada por su forma semicircular, refleja la presencia de un posible cuerpo batolítico a profundidad.

Zona Sur Occidental (Sector Transverso), constituida por una serie de anticlinales y sinclinales orientados en sentido E-W y una cabalgadura importante en su parte frontal.

Algunos autores proponen que los pliegues del noreste de México son el resultado de la combinación de un despegue con dirección suroeste-noreste y de esfuerzos de cizalla sinestrales donde las fallas La Babia y San Marcos se reactivaron durante el Terciario Temprano, provocando un giro de los anticlinales en el Golfo de Sabinas.

La tectónica del noreste de México puede explicarse dentro del marco tectónico del desarrollo del Golfo de México, que se caracteriza por haber sido un margen de placas divergente durante el Mesozoico, originando varias cuencas por ruptura de la Pangea (Carta Geológico-Minera Monterrey G14-7, escala 1:250,000. SGM, 2008).

La geología estructural en el área que ocupa el acuífero es muy compleja, debido a que es una región que ha estado sujeta a diversos procesos geológicos de tipo regional, que tuvieron como consecuencia la ruptura y sobreposición de las rocas.

Las estructuras dominantes fueron generadas por esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide; como resultado de esta deformación se presenta una gran cantidad de pliegues que varían en orientación de prácticamente N-S en la porción sureste del acuífero, a NW-SE en los sectores poniente y norte.

Posteriormente en el Terciario se generaron una gran cantidad de fallas normales con orientación NW-SE; estas fallas dislocaron a las rocas que por las deformaciones previas ya tenían una gran complejidad estructural; esta nueva etapa tectónica formó las fosas tectónicas en que se acumularon los sedimentos, que posteriormente fueron saturados formando los acuíferos en materiales granulares.

Esta complejidad estructural, caracterizada por la presencia de pliegues recostados, fallas inversas, de desplazamiento horizontal y fallas normales, ocasiona que las rocas cretácicas y jurásicas pierdan su continuidad en el subsuelo, dificultando establecer la forma en que se recargan las unidades acuíferas. A finales del Cretácico y principios del Terciario, los movimientos originados por la Orogenia Laramide, pliegan a los sedimentos Cretácicos, con esfuerzos provenientes del SW, ocasionando pliegues recostados, por encontrarse la Paleo-península de Tamaulipas hacia el NE, que actuó como Antepaís.

Las fallas resultantes son inversas y en ocasiones ponen en contacto rocas del Cretácico Inferior (Formación Cupido) con rocas del Cretácico Superior (Formación Agua Nueva).

En la Sierra Madre Oriental al suroeste de la Llanura Linares-Montemorelos, se aprecia una serie de pliegues anticlinales y sinclinales orientados SE-NW, estrechos, alargados y generalmente recostados hacia el NE con flancos de fuerte inclinación, constituidos en las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico Inferior. Las formaciones de Cretácico Superior se encuentran en los sinclinales y en las áreas de anticlinales han sido erosionadas. Los pliegues anticlinales y sinclinales en la Llanura Linares-Montemorelos generalmente se encuentran sepultados por el Conglomerado Reynosa y Depósitos Aluviales del Cuaternario.

Sin embargo, al sureste de Montemorelos se observa un sinclinal corto de rumbo SE-NW en la Formación Méndez. Lo mismo al noreste de Linares, fuera de la zona que ocupa el acuífero, donde existe una serie de anticlinales y sinclinales, que se han podido cartografiar con orientación SE-NW, son pliegues estrechos y de corta longitud desarrollados en la Formación Méndez.

Las fallas que se han reconocido en la región son inversas claramente expuestas en la Sierra Madre Oriental con orientación preferencial SE-NW. Son fallas desarrolladas esencialmente en los flancos noreste de los anticlinales, poniendo en contacto formaciones del Cretácico Inferior encima de formaciones del Cretácico Superior. Entre estas fallas cabe destacar la falla maestra o frontal de cabalgadura que en la zona limita la Sierra Madre Oriental con la Llanura Linares-Montemorelos. La expresión superficial de esta falla son capas casi verticales de la Formación Cupido que se encuentra encima de las Formaciones Agua Nueva y San Felipe. Más hacia adentro de la Sierra Madre Oriental, las fallas inversas son secundarias asociadas a la gran falla maestra de cabalgadura.

Otro tipo de estructuras que resalta en la región es un sistema de fracturas con orientación preferencia SW-NE. En la Sierra Madre Oriental cortan a las estructuras de las formaciones del Jurásico Superior y Cretácico, que se relaciona con la etapa distensiva que actuó en la región, posterior a los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide, ampliamente documentada en la región noreste de México.

### **4.3 Geología del subsuelo**

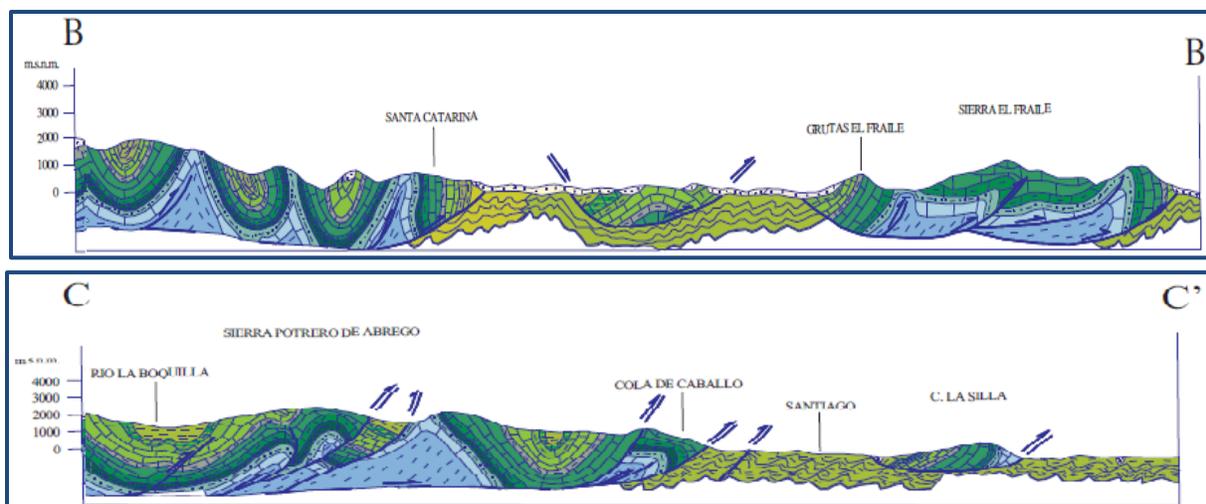
De acuerdo con la información de los cortes litológicos de pozos, los sondeos geofísicos, las evidencias de la geología superficial y la correlación con otros acuíferos vecinos en la región, es posible definir que en el subsuelo se presentan lutitas, areniscas y calizas sobreyacidas por delgados espesores de depósitos aluviales y coluviales, así como de piedemonte hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. El acuífero se encuentra alojado y constituido por dos medios, uno granular en su porción superior, conformado por una delgada capa de sedimentos aluviales y coluviales producto de la erosión de las partes altas de las sierras, que han sido transportados por abanicos aluviales y por escurrimientos superficiales para ser depositados en los cauces de los arroyos y las planicies, así como conglomerados.

La porción inferior es un medio fracturado que está constituido por lutitas y lutitas calcáreas alteradas, que junto con la unidad superior forman un acuífero de baja permeabilidad y de reducida capacidad de almacenamiento. La mayor parte del subsuelo superficial de la región está conformada por las lutitas calcáreas de la Formación Méndez que presenta fracturamiento y alteración en sus primeros metros.

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

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

La secuencia de rocas carbonatadas del Cretácico Inferior y Jurásico Superior constituye un acuífero de alta permeabilidad que ha demostrado su potencial y que al estar sobreyacida por rocas arcillosas presenta condiciones de semiconfinamiento y confinamiento. En la figura 3 se presentan secciones geológicas esquemáticas que muestran la compleja geología estructural de la región.



Fuente: Carta Geológica-Minera G14-7 "Monterrey". Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)  
Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas, así como los cortes litológicos de pozos permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido por un medio granular y otro fracturado.

La porción superior está conformada por sedimentos aluviales, de granulometría variada, así como conglomerados polimícticos, cuyo espesor puede alcanzar algunas decenas de metros en el centro de los valles; debajo de ellos se presentan lutitas fracturadas y alteradas.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias, principalmente lutitas de la Formación Méndez, cuando presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las **calizas** cretácicas y jurásicas representan un acuífero que presenta **condiciones de semiconfinamiento y confinamiento**, debido a que están sobreyacidas por lutitas y lutitas calcáreas.

### 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 corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, que fueron realizadas en estudios previos, tanto en este acuífero como en otros vecinos. De su interpretación por métodos analíticos convencionales se determina que los valores medios de transmisividad varían entre  **$2.3 \times 10^{-4}$  y  $13.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

Los valores de conductividad hidráulica varían considerablemente dependiendo si se trata de la unidad de depósitos aluviales o de las lutitas fracturadas y alteradas, así como su espesor: para los primeros pueden ser de  **$1.15 \times 10^{-3}$  a  $1.16 \times 10^{-1}$  m/s (100 a 10000 m/d)** y para las lutitas de  **$1.15 \times 10^{-7}$  a  $9.5 \times 10^{-4}$  m/s (0.01 a 82.5 m/d)**.

Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. De acuerdo a la granulometría de los depósitos, para el balance de agua subterránea se adoptaron valores de rendimiento específico entre 0.01 y 0.1 para los depósitos granulares arcillo-calcáreos que explotan los aprovechamientos someros.

### **5.3 Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información de estudios previos, así como la piezometría recabada por el Organismo de Cuenca Río Bravo de la Comisión Nacional del Agua para varios años. Para el balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2000-2012, particularmente para la evolución del nivel estático, ya que es el que tiene mayor cantidad de información y mejor cobertura espacial.

En lo que respecta a la profundidad y elevación del nivel estático, se describe la configuración del año 2014. Únicamente se considera el acuífero somero compuesto por los sedimentos aluviales y la parte superior de las lutitas de la Formación Méndez.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2014 muestra que los valores variaron, de manera general, de 5 a 40 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia las estribaciones de las sierras que limitan los valles (figura 4).

Las profundidades más someras, de 5 a 10 m, se presentan en la porción nororiental del acuífero, entre San Nicolás de Los Garza y el Aeropuerto Internacional de Monterrey "Mariano Escobedo"; en tanto que los más profundos, de 30 a 40 m, se registran en el extremo occidental del acuífero, en el Cañón de La Huasteca, entre Santa Catarina y el límite con el acuífero vecino Campo Durazno

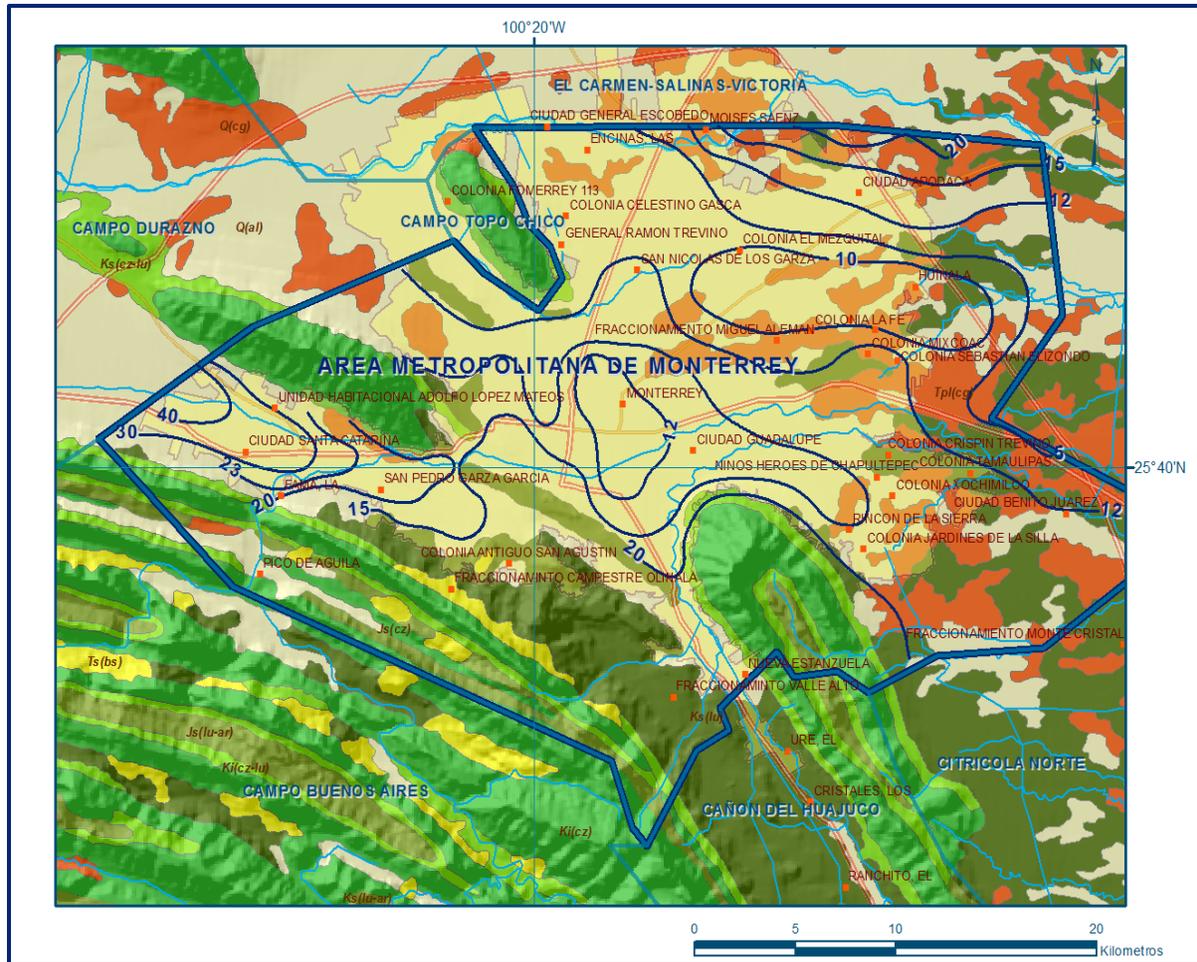


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

#### 5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2014 registró valores que variaron de 650 a 360 msnm. Las menores elevaciones se registraron en la región nororiental del acuífero, entre San Nicolás de Los Garza y el Aeropuerto Internacional de Monterrey, hacia el límite con el acuífero El Carmen-Salinas-Victoria; en tanto que las mayores elevaciones, de 620 a 650 msnm se presentaron en el extremo occidental del acuífero, particularmente en el flanco sur de los pies de monte de la Sierra Las Mitras (figura 5).

La dirección preferencial del flujo subterráneo presenta una orientación oeste-este y suroeste-noreste, hacia el acuífero vecino El Carmen-Salinas-Victoria. En el Cañón de La Huasteca, el flujo subterráneo es concéntrico hacia el Río Santa Catarina.

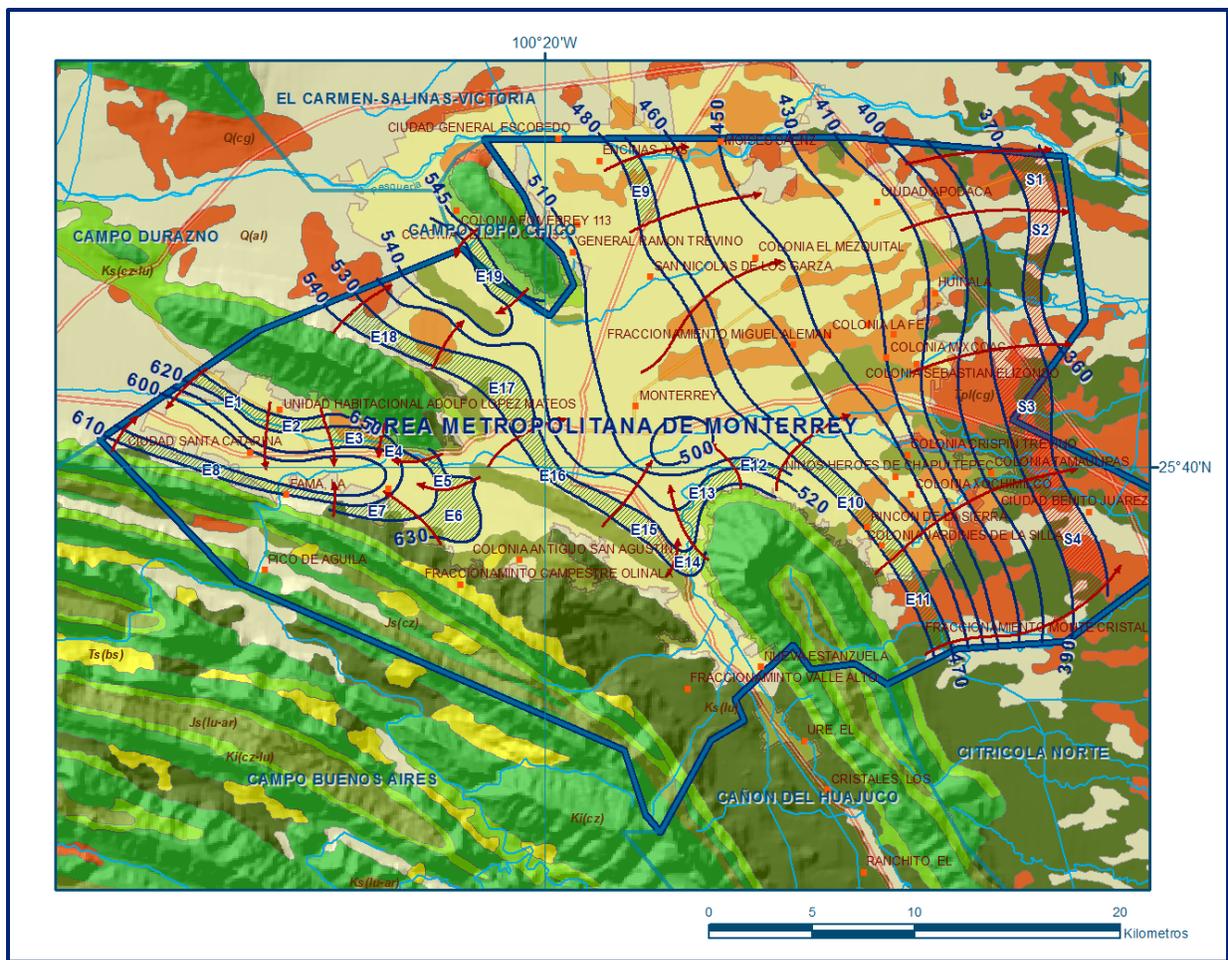


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2014)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2000-2012 no registró cambios significativos en la posición de los niveles del agua subterránea, para la mayor parte de la zona de explotación; sólo se identificaron abatimientos puntuales de 1 a 17 m, que representan 0.1 a 1.4 m, en las zonas ubicadas al noreste de Apodaca, entre Loma Larga y la Sierra Las Mitras y hacia el límite con el acuífero El Carmen-Salinas-Victoria, en la zona conocida como Hacienda El Campanario.

En torno de la curva de evolución nula se registraron recuperaciones de 2 a 5 m; es decir, 0.15 a 0.4 m anuales (figura 6).

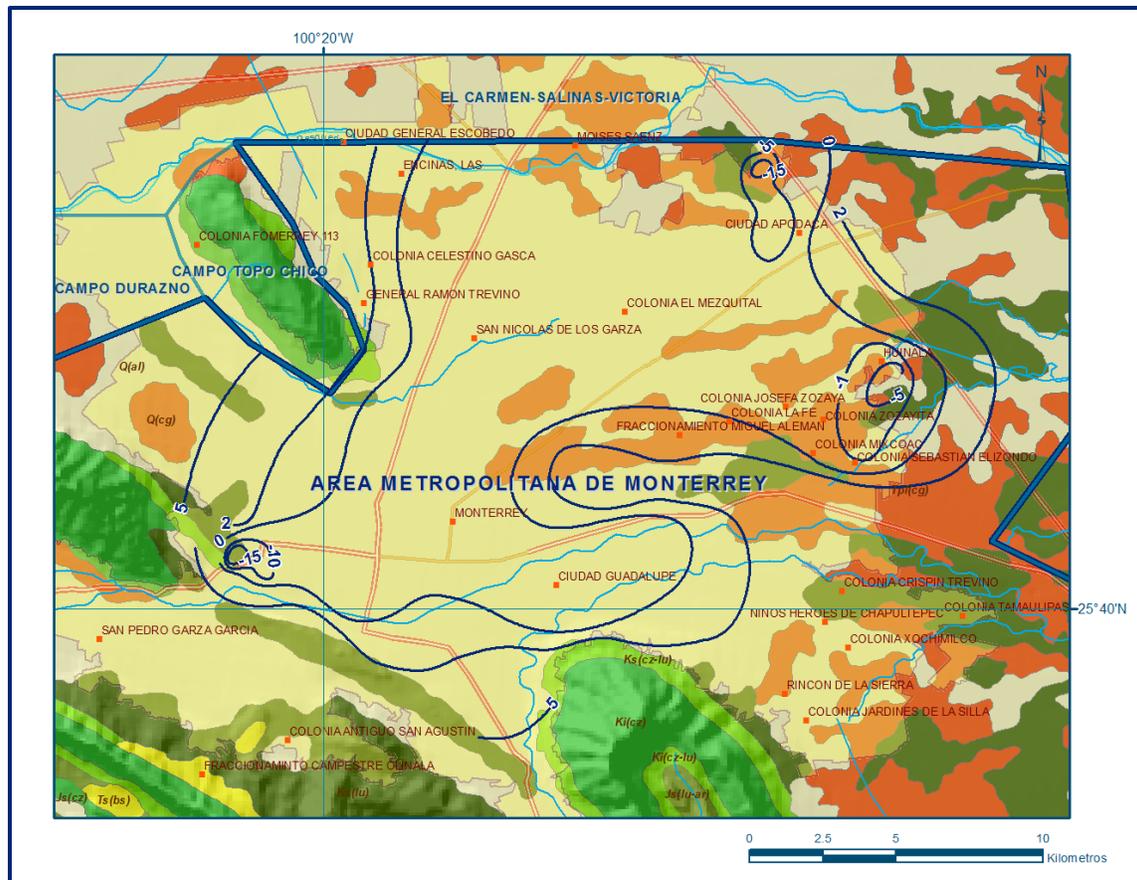


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2000- 2012)

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La información histórica de salinidad del agua subterránea procedente de estudios previos, revela que la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) presenta valores extremos de 1100 a 5100 mg/l, aunque los valores más frecuentes fluctúan entre 1000 y 1500 ppm.

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2014, se realizaron mediciones in situ de la conductividad eléctrica y a partir de ellas se obtuvo de manera indirecta la concentración de STD que representan. De acuerdo con los resultados obtenidos, se define que los valores de concentración de STD varían de 850 a 7300 mg/l.

En la mayoría de las muestras de agua se presentan concentraciones que superan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido por la Modificación a la NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. de STD.

En cuanto a la conductividad eléctrica, de manera general, el agua se clasifica como dulce a salobre, de acuerdo al criterio establecido por la American Public and Health Association (APHA, 1995), ya que se registraron valores que varían de 1450 a 9800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los valores más altos se registran en aprovechamientos que explotan la porción fracturada y alterada de las lutitas de la Formación Méndez, por lo que su incremento no está relacionado con el enriquecimiento en sales en el sentido en que el agua subterránea se mueve, sino con la presencia de sulfatos y cloruros en las lutitas, que están aflorando o que se encuentran muy someras.

De acuerdo a las concentraciones de salinidad y las unidades geológicas que aportan el agua subterránea, es posible inferir que las familias de agua dominantes en la región son la sódica-sulfatada, sódico-clorurada y cálcica-bicarbonatada; las dos primeras asociadas a la presencia de lutitas y lutitas calcáreas y la cálcica-bicarbonatada, se presenta hacia las estribaciones de las sierras que delimitan los valles, asociada a las rocas calcáreas del Cretácico Inferior, por lo que representan agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia.

De igual manera, es posible inferir que, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua subterránea de la región presente con mayor frecuencia contenidos medios a altos de sales (C2S1) y concentración baja a media de sodio intercambiable (C3S2).

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el año 2014, se registraron las 500 obras más importantes por su volumen de extracción que aprovechan el agua subterránea, 487 pozos, 10 norias y 3 manantiales; de los cuales 375 están activos y 125 se consideraron inactivos.

De las obras activas, 24 (6.4%) se destinan al uso agrícola, 16 (4.3%) al uso público-urbano, 6 (1.6%) más para uso pecuario, 13 (3.5%) para uso doméstico, 116 (30.9 %) para servicios y 200 (53.3%) para uso industrial.

Debido a que el número total de aprovechamientos existentes en la superficie del acuífero es muy superior a las obras censadas, fue necesario recurrir a la información del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de la CONAGUA y de las solicitudes de registro derivadas de los Acuerdos de Carácter General que suspendieron el libre alumbramiento, cuyos volúmenes de extracción fueron verificados en campo.

Como resultado de todo esto, existe un total de 1243 aprovechamientos del agua subterránea. El volumen total de extracción asciende a 98.2 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 51.9 hm<sup>3</sup> (70.0 %) se destinan al uso industrial, 28.2 hm<sup>3</sup> (16.8 %) para abastecimiento de agua potable, 6.1 hm<sup>3</sup> (3.0 %) para uso agrícola, 1.5 hm<sup>3</sup> (0.3 %) son destinados a las necesidades del uso doméstico-pecuario, 6.6 hm<sup>3</sup> (9.9 %) para servicios y 3.9 hm<sup>3</sup> (9.9 %) para usos múltiples. Adicionalmente, los 3 manantiales principales ubicados en la porción norte y noreste de la zona urbana descargan un caudal promedio de 232 lps, que equivalen a un volumen anual de 7.3 hm<sup>3</sup>.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2000-2012, que es el que tiene mayor cantidad de información y mejor cobertura espacial, en una superficie de 300 km<sup>2</sup> que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos:

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

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

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

### **7.1 Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R) 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 (Rv), y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

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; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la red de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero ( $R_i$ ). Para este caso debido a que el volumen destinado al uso agrícola es pequeño, solo se considera la infiltración de las fugas en la red agua potable y de alcantarillado.

### 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 ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h - D_m - D_{fb} = \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

**$R_v$ :** Recarga vertical

**$E_h$ :** Entradas por flujo subterráneo horizontal

**$R_r$ :** Recarga Incidental

**$B$ :** Bombeo

**$S_h$ :** Salidas por flujo subterráneo horizontal

**$D_m$ :** Salidas por descarga a través de manantiales

**$D_{fb}$ :** Salidas por flujo base

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

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

$$R_v = B + S_h + D_m + D_{fb} \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \quad (2)$$

### 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ )

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 piedemontes, 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 2014 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

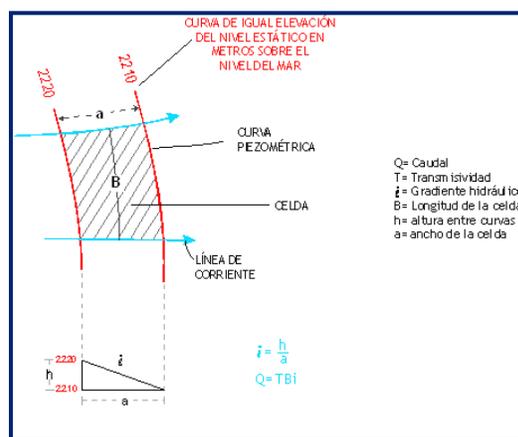
Donde:

**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, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **39.5 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal

| CELDA                 | LONGITUD B (m) | ANCHO a (m) | $h_2-h_1$ (m) | Gradiente i | T (m <sup>2</sup> /s) | CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s) | VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año) |
|-----------------------|----------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| E1                    | 4570           | 850         | 30            | 0.0353      | 0.0010                | 0.1613                       | 5.1                            |
| E2                    | 3140           | 665         | 30            | 0.0451      | 0.0015                | 0.2125                       | 6.7                            |
| E3                    | 2095           | 570         | 30            | 0.0526      | 0.0006                | 0.0662                       | 2.1                            |
| E4                    | 1905           | 665         | 30            | 0.0526      | 0.0012                | 0.1203                       | 3.8                            |
| E5                    | 2380           | 1140        | 10            | 0.0150      | 0.0010                | 0.0358                       | 1.1                            |
| E6                    | 3045           | 2095        | 10            | 0.0088      | 0.0012                | 0.0321                       | 1.0                            |
| E7                    | 3810           | 1045        | 10            | 0.0048      | 0.0010                | 0.0182                       | 0.6                            |
| E8                    | 7620           | 665         | 10            | 0.0096      | 0.0008                | 0.0583                       | 1.8                            |
| E9                    | 2950           | 1140        | 10            | 0.0150      | 0.0015                | 0.0665                       | 2.1                            |
| E10                   | 7240           | 1240        | 10            | 0.0088      | 0.0012                | 0.0762                       | 2.4                            |
| E11                   | 5240           | 950         | 10            | 0.0081      | 0.0008                | 0.0338                       | 1.1                            |
| E12                   | 1905           | 665         | 20            | 0.0211      | 0.0010                | 0.0401                       | 1.3                            |
| E13                   | 3430           | 860         | 10            | 0.0150      | 0.0012                | 0.0619                       | 2.0                            |
| E14                   | 1810           | 1450        | 10            | 0.0116      | 0.0015                | 0.0316                       | 1.0                            |
| E15                   | 3810           | 665         | 10            | 0.0069      | 0.0005                | 0.0131                       | 0.4                            |
| E16                   | 5715           | 860         | 10            | 0.0150      | 0.0005                | 0.0430                       | 1.4                            |
| E17                   | 6665           | 1335        | 10            | 0.0116      | 0.0015                | 0.1163                       | 3.7                            |
| E18                   | 4760           | 1050        | 10            | 0.0075      | 0.0010                | 0.0357                       | 1.1                            |
| E19                   | 3430           | 950         | 10            | 0.0088      | 0.0010                | 0.0301                       | 0.9                            |
| <b>Total entradas</b> |                |             |               |             |                       |                              | <b>39.5</b>                    |

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 incidental (Ri)**

En esta componente se considera únicamente las fugas de la red de abastecimiento de agua potable y del sistema de alcantarillado, las cuales varían en función del estado físico y antigüedad de las líneas de conducción, así como de la eficiencia en el sistema de abastecimiento.

Para el caso de este acuífero, se considera que, del volumen para uso público-urbano, únicamente el 10% recarga de manera efectiva al acuífero, considerando la profundidad somera del acuífero libre y la existencia de lutitas en la litología que lo conforma.

De esta manera, si el volumen de agua que se utiliza para abastecimiento de agua potable es de 346.0 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 169.1 hm<sup>3</sup> son de agua subterránea (28.2 hm<sup>3</sup> de agua que extrae los pozos ubicados dentro del acuífero y 140.9 hm<sup>3</sup> más procedentes de los acuíferos Campo Buenos Aires y Campo Mina, así como de los túneles Cola de Caballo y San Francisco, localizados en el acuífero Cañón del Huajuco) y 176.9 hm<sup>3</sup> de agua superficial proveniente de las presas La Boca, El Cuchillo y Cerro Prieto, la recarga incidental es de 34.6 hm<sup>3</sup>. **Ri = 34.6 hm<sup>3</sup> anuales**

## **7.2 Salidas**

La descarga del acuífero ocurre por bombeo (B), de manera natural mediante flujo subterráneo horizontal (Sh), a través de algunos manantiales (Dm) ubicados en la porción nororiental, así como mediante el flujo base (Dfb) principalmente en la parte baja de la cuenca de los ríos La Silla y Santa Catarina. No existen descargas naturales por evapotranspiración (ETR) debido a que, aunque se presentan niveles freáticos someros, la cubierta de asfalto y concreto del área urbana de Monterrey impide que se produzca.

### **7.2.1 Bombeo (B)**

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **98.2 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2014 (figura 5); su valor estimado es de **7.0 hm<sup>3</sup>/año**, como se muestra en la tabla 3.

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

| LONGITUD B<br>(m)    | ANCHO a<br>(m) | $h_2-h_1$<br>(m) | Gradiente i | T<br>(m <sup>2</sup> /s) | CAUDAL Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | VOLUMEN<br>(hm <sup>3</sup> /año) |
|----------------------|----------------|------------------|-------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| 3430                 | 1430           | 10               | 0.0070      | 0.0012                   | 0.0288                          | 0.9                               |
| 6665                 | 1335           | 10               | 0.0075      | 0.0025                   | 0.1248                          | 3.9                               |
| 6095                 | 8380           | 10               | 0.0012      | 0.0025                   | 0.0182                          | 0.6                               |
| 6285                 | 1525           | 10               | 0.0066      | 0.0012                   | 0.0495                          | 1.6                               |
| <b>Total salidas</b> |                |                  |             |                          |                                 | <b>7.0</b>                        |

### 7.2.3 Descarga natural por manantiales

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, existen 3 manantiales importantes ubicados al norte y noreste de la ciudad, conocidos con el nombre Colonia Jardines del Canadá, Nuevo Los Puentes y Ojo de Agua de Apodaca, cuyo caudal promedio anual conjunto es de 232 lps, que equivalen a **7.3 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.4 Salida por flujo base (Dfb)

No existen estaciones de aforo dentro de la superficie del acuífero, sin embargo, las estimaciones hechas al caudal conjunto que descargan los ríos Santa Catarina y La Silla demuestran que éstas son en promedio de 1000 lps, por lo que el flujo base equivale a **31.5 hm<sup>3</sup>/año**.

### 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 2000-2012 (figura 6).

Con base en ella y valores de coeficiente de almacenamiento variable de 0.01 a 0.1, se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 300 km<sup>2</sup>, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- $\Delta V(S)$** = Cambio de almacenamiento en el período analizado  
**S**= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance  
**A**= Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>)  
**h**= Valor de la variación piezométrica en el período (m)

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica durante el período 2000-2012 se pueden observar en la tabla 4. El volumen anual del cambio de almacenamiento es de **- 0.3 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 4. Cálculo del volumen de cambio de almacenamiento (2000-2012)

| Evolución (m)          | Abatimiento medio (m) | Área (km <sup>2</sup> ) | Sy           | $\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año) |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|
| 0                      | 0                     | 190.3                   | 0.01         | 0.0                                  |
| - 1 a - 5              | -3.0                  | 5.4                     | 0.1          | -1.6                                 |
| -10 a - 15             | -12.5                 | 1.1                     | 0.01         | -0.1                                 |
| -15                    | -15.0                 | 0.5                     | 0.01         | -0.1                                 |
| -5.0                   | -5.0                  | 1.1                     | 0.01         | -0.1                                 |
| -5 a - 15              | -10.0                 | 3.5                     | 0.1          | -3.5                                 |
| 0 a 2                  | 1.0                   | 76.8                    | 0.01         | 0.8                                  |
| 2 a 5                  | 3.5                   | 21.3                    | 0.01         | 0.7                                  |
| <b>Área de balance</b> |                       | <b>300.0</b>            | <b>TOTAL</b> | <b>-3.9</b>                          |
| <b>Promedio anual</b>  |                       |                         |              | <b>-0.3</b>                          |

### Solución de la ecuación de balance

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

$$R_v = B + Sh + D_m + D_{fb} \pm \Delta V(S) - E_h - R_i$$

$$R_v = 98.2 + 7.0 + 7.3 + 31.5 - 0.3 - 39.5 - 34.6$$

$$R_v = 69.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 69.6 + 39.5 + 34.6$$

$$R = 143.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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:

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

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. Para este caso, su valor es de **143.7 hm<sup>3</sup>/año**, todos ellos son de recarga natural.

### 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 Área Metropolitana de Monterrey, el volumen de las descargas naturales comprometidas está comprendido por las salidas subterráneas hacia el acuífero vecino El Carmen-Salinas-Victoria, la descarga de los manantiales y el flujo base de los ríos Santa Catarina y La Silla.

Por lo tanto, **DNC = 45.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **110,285,534 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

### 8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 143.7 - 45.8 - 110.285534 \\ \text{DMA} &= -12.385534 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **12,385,534 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 1997. Integración del Inventario de Captaciones de Agua Subterránea y Actividades de Carácter Geohidrológico en el Acuífero Área Metropolitana, en Monterrey, Nuevo León. Realizado Hidrosistemas Universales, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua. 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Área Metropolitana de Monterrey, estado de Nuevo León.

Comisión Nacional del Agua, 2014. Estudio de Actualización Geohidrológica de los Acuíferos 1906, Área Metropolitana de Monterrey; 1912 Citrícola Norte; 1916 Navidad-Potosí-Raíces, en el estado de Nuevo León. Realizado por Moro Ingeniería, S.C.