



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO MONCLOVA (0507), ESTADO DE  
COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero .....	5
<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.....	9
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
4.1 Estratigrafía .....	11
4.2 Geología Estructural.....	20
4.3 Geología del subsuelo .....	21
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
5.1 Tipo de acuífero .....	23
5.2 Parámetros hidráulicos .....	23
5.3 Piezometría .....	24
5.4 Comportamiento hidráulico.....	24
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	24
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	25
5.4.3 Evolución del nivel estático .....	26
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	27
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>28</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>29</b>
7.1 Entradas .....	29
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	30
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	30
7.1.3 Recarga incidental (Ri).....	32
7.2 Salidas.....	32
7.2.1 Bombeo (B).....	32
7.2.2 Descarga por manantiales (Dm) .....	33
7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	33
7.3 Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	33
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>34</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	35
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	35
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) .....	35
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	36
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>37</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 Monclova, definido con la clave 0507 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-oriental del estado de Coahuila, entre los paralelos 26°32' y 28°37' de latitud norte y los meridianos 100°32' y 102°35' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 13,525 km<sup>2</sup>. Limita al norte y este con el acuífero Región Carbonífera, al sur con los acuíferos Castaños y Cuatrociénegas, al oeste con Cuatrociénegas-Ocampo y al noroeste con el acuífero Santa Fe del Pino, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila, al sureste con los acuíferos Lampazos–Anáhuac y Lampazos–Villaldama, pertenecientes al estado de Nuevo León (figura 1).

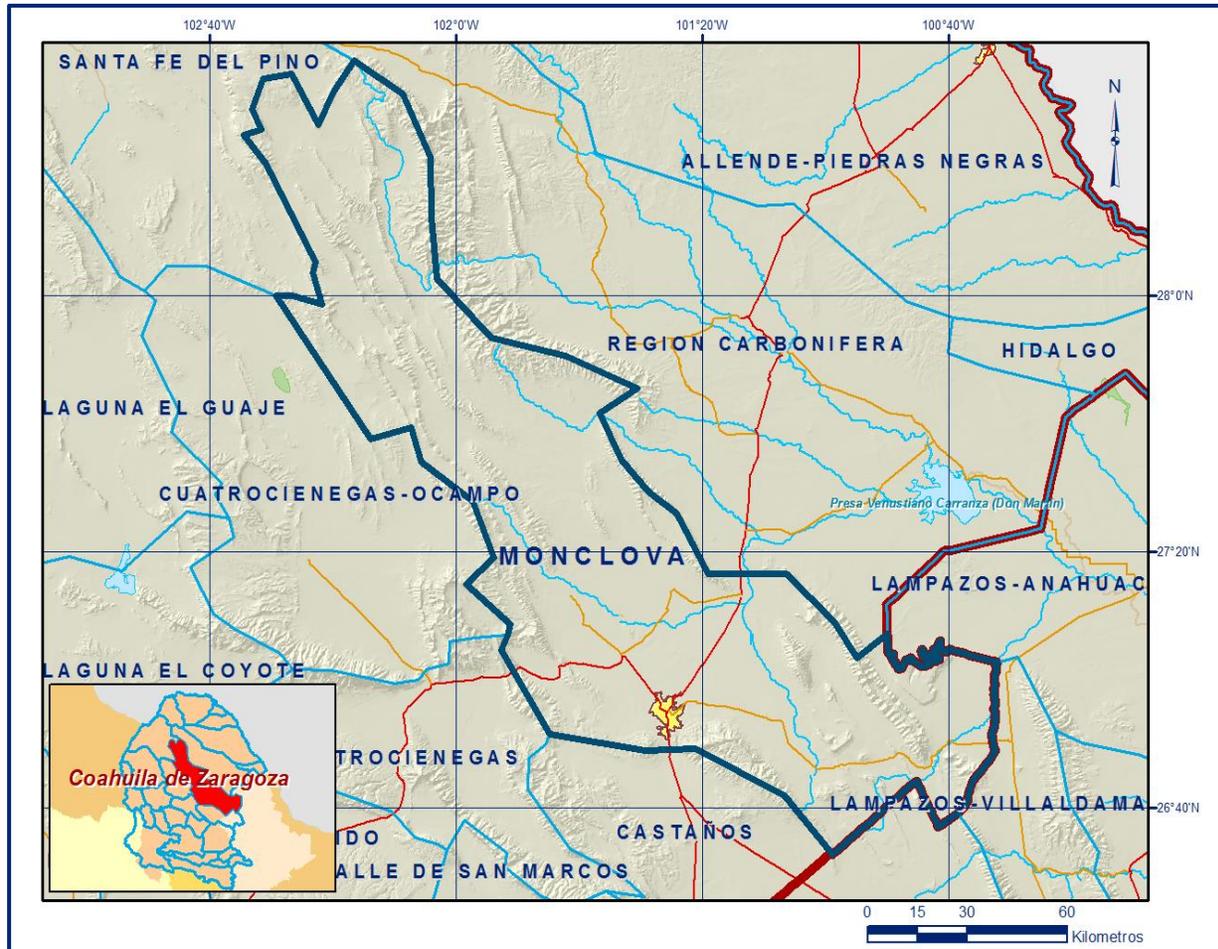


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero comprende la totalidad de los municipios Monclova, Candela, Abasolo, Frontera y Nadadores; casi la totalidad de San Buenaventura y Sacramento; parcialmente los municipios Escobedo y Lamadrid, así como porciones menores de Progreso, Ocampo y Castaños.

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

ACUIFERO 0507 MONCLOVA

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	29	14.2	28	0	1.1	
2	102	26	34.2	28	0	2.6	
3	102	21	41.8	27	58	37.9	
4	102	23	17.6	28	3	37.1	
5	102	22	45.1	28	5	13.6	
6	102	30	53.8	28	20	38.6	
7	102	34	28.4	28	25	1.6	
8	102	31	32.9	28	26	2.0	
9	102	33	5.1	28	29	6.3	
10	102	31	21.3	28	33	53.5	
11	102	26	39.6	28	34	36.3	
12	102	22	22.5	28	26	46.1	
13	102	19	51.4	28	31	52.6	
14	102	16	36.1	28	36	44.5	
15	102	8	34.9	28	31	31.8	
16	102	4	11.0	28	21	34.3	
17	102	3	59.7	28	12	11.6	
18	102	3	9.2	28	2	36.7	
19	101	54	17.0	27	53	25.9	
20	101	42	9.9	27	50	31.0	
21	101	30	33.2	27	45	29.6	
22	101	36	40.9	27	41	35.4	
23	101	33	4.1	27	34	16.7	
24	101	28	45.8	27	29	20.1	
25	101	24	6.0	27	25	52.6	
26	101	19	5.2	27	16	34.4	
27	101	6	23.0	27	16	35.5	
28	100	58	39.5	27	9	3.0	
29	100	54	48.0	27	3	22.9	
30	100	49	54.4	27	7	9.6	DEL 30 AL 31 POR EL LIMITE ESTATAL
31	100	32	1.8	27	2	43.4	DEL 31 AL 32 POR EL LIMITE ESTATAL
32	100	38	31.0	26	39	5.4	DEL 32 AL 33 POR EL LIMITE ESTATAL
33	100	59	6.6	26	32	52.9	
34	101	6	36.9	26	41	50.9	
35	101	21	9.6	26	49	15.0	
36	101	29	8.3	26	48	59.2	
37	101	44	45.4	26	51	25.1	
38	101	52	40.5	27	4	38.1	
39	101	51	40.4	27	6	56.8	
40	101	51	13.8	27	8	36.9	
41	101	58	15.7	27	14	52.4	
42	101	53	47.4	27	19	6.5	
43	101	57	18.5	27	27	51.0	
44	102	5	36.1	27	33	59.4	
45	102	7	13.7	27	39	24.5	
46	102	13	55.1	27	37	38.9	
1	102	29	14.2	28	0	1.1	

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

## **1.2 Situación Administrativa del acuífero**

El acuífero Monclova, pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Coahuila. Se ubica en territorio del Consejo de

Cuenca “Río Bravo”, instalado el 21 de enero de 1999. En su territorio completo no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los 96 acuíferos que se indican”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el público-urbano. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni se ha constituido a la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

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

En la superficie que cubre el acuífero se han realizado varios estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE MONCLOVA, COAH. Elaborado por la empresa Ingeniería Integral (ININSA, S.A.) para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1981.** Es el primer estudio geohidrológico realizado en esta región y sus resultados se utilizaron en reportes posteriores. Sus objetivos fueron caracterizar el funcionamiento del sistema acuífero; realizar el censo de aprovechamiento, identificar las componentes de la recarga y elaborar el balance de aguas subterráneas.

Calcula una recarga media anual de 30 hm<sup>3</sup> y una extracción de 18 hm<sup>3</sup> anuales, concluyendo que el acuífero se encontraba en equilibrio.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO E HIDROLÓGICO PARA CONOCER LA POTENCIALIDAD DE LOS ACUÍFEROS Y AGUAS SUPERFICIALES EN LOS ALREDEDORES DE MONCLOVA, COAH. Elaborado por Lesser y Asociados, S.A. para Altos Hornos de México, S.A. en el año de 1985.** El estudio tuvo como objetivo buscar fuentes de abastecimiento alternas para la planta de Altos Hornos de México, S.A. (AHMSA) que para ese año requería 650 lps adicionales a los 1,100 con los que contaba. Identifica una unidad conformada por materiales aluviales y otra conformada por rocas calizas de las formaciones Georgetown, Aurora y Cupido en las que se enfoca el estudio. Concluye que a profundidades que varían de 400 a 800 m se presentan cargas hidráulicas que ascienden a niveles cercanos a la superficie y en algunos casos pueden ocasionar pozos artesianos. La extracción estimada fue de 54.8 hm<sup>3</sup> anuales.

**ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DE HIDROGEOLOGÍA CÁRSTICA EN EL ACUÍFERO DE MONCLOVA, ESTADO DE COAHUILA. Elaborado por la empresa Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente S.C. (SIIMA) para la Comisión Nacional del Agua en 2002.** Este trabajo incluye una descripción amplia de la geología de la región, un censo parcial y toma de muestras para análisis fisicoquímicos. Establece que las estructuras geológicas que se encuentran en la región de Monclova son diferentes a las que conforman la Sierra Madre Oriental y concluye que el acuífero se explotaba principalmente por obras someras, menores de 50 m de profundidad, alojadas en materiales aluviales y que su principal recarga proviene de la infiltración de los escurrimientos de los Ríos Salado y Nadadores

**ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS MONCLOVA Y SALTILLO-RAMOS ARIZPE, EN EL ESTADO DE COAHUILA. Elaborado por GEOPSA, S.A. de C.V. en el 2007 para la Comisión Nacional del Agua.** El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos y 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 plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO (0507) MONCLOVA, COAHUILA. Realizado en 2012 por Lesser y Asociados, S.A. para Altos Hornos de México, S.A.** Este estudio tuvo como objetivos evaluar la calidad y cantidad del agua subterránea, determinar el volumen de explotación actual y la magnitud de la recarga natural del acuífero, así como actualizar el valor de la disponibilidad de agua subterránea, conforme a la Norma Oficial Mexicana. Incluye en la evaluación el agua subterránea de las calizas que constituyen las sierras que delimitan el acuífero.

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

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia Fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental. Por otro lado, según la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1981), el acuífero se ubica en territorio de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses. La porción suroriental se ubica en la Provincia Fisiográfica Grandes Llanuras de Norteamérica, Subprovincias Llanuras de Coahuila y Nuevo León y Pliegues Saltillo-Parras.

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

Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados.

La Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses está constituida por sierras de carbonatos plegados, con pendientes escarpadas la mayoría de ejes están 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 Provincia Grandes Llanuras de Norteamérica se distribuye en parte de los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Se extiende hasta Canadá y se desarrolla en su mayor parte en EUA. Presenta una alternancia de llanuras y lomeríos compuestos por rocas sedimentarias del Cenozoico que no han sido plegadas fuertemente, por lo que muestran un relieve suave, semejante a una penillanura.

La Subprovincia Llanuras de Coahuila y Nuevo León se caracteriza porque en ella predominan sistemas de topoformas de lomeríos muy suaves, asociados a llanuras y solo en la porción sur existen sierras bajas, mesetas y valles. La Subprovincia Pliegues Saltillo-Parras forma parte de la región conocida como Mesa del Norte y está constituida por llanuras donde dominan las lutitas y las areniscas, que se extienden al sur de Monclova hasta el oeste, a la altura de Saltillo.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen, adaptada por Enriqueta García a las condiciones de México, en la superficie que cubre el acuífero predominan dos tipos de climas. Uno en los valles y partes topográficamente bajas clasificado como  $BS_0hx'$  y  $BS_0hw$  que corresponde a clima seco, muy cálido y cálido, con lluvias en verano y precipitación invernal mayor de 10.2%.

Hacia las sierras, el clima cambia al tipo  $BS_1kw(x')$  y  $BS_1kx$  que se clasifica como semiseco, semifrío, con escasas lluvias todo el año y una precipitación invernal mayor de 18%. El clima es en general semidesértico extremoso, frío en invierno y cálido en verano, la temperatura es más extremosa en las porciones norte y noreste, y menos al sur, con presencia de heladas en toda su superficie.

La temperatura media anual es de 20 °C en la planicie que cubre la mayor parte de la zona de estudio y disminuye hasta 16 °C en las elevaciones topográficas que la limitan. Las temperaturas más bajas se registran en enero con valores de 12 °C y las más altas en junio y julio con valores superiores a 30 °C.

La precipitación promedio anual varía de poco menos de 400 mm, que se registra en los valles y zona topográficamente más bajas, a 500 mm en las sierras que delimitan el acuífero. La época de lluvias se presenta de mayo a octubre y el estiaje de noviembre a abril.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de 7 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Castaños, Monclova, San Buenaventura, Eutimias, Sacramento, La Madrid y Candela, con distintos periodos de registro, el más amplio 1967-2011 y el más corto 1981-2011. Con base en estos datos, se obtuvieron valores promedio anual de temperatura, lluvia y evaporación potencial de **20.0 °C, 400.0 mm y 2,350 mm**, respectivamente.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero se localiza en su totalidad en la Región Hidrológica 24 denominada Río Bravo-Conchos, Subregión Hidrológica Ríos Salado y Sabinas, Cuenca de la Presa Falcón-Río Salado (24D), cuya corriente principal es el Río Salado.

Este río tiene su origen en el estado de Coahuila en la confluencia de los arroyos Aura, Seco y Pájaros Azules, pasa por la Presa Venustiano Carranza (Don Martín) fluyendo en dirección norte-sureste atravesando las llanuras nororientales del estado para luego continuar por Nuevo León, hasta su desembocadura en la presa Falcón en el estado de Tamaulipas. Tiene como subcuencas intermedias: Río Salado-Anáhuac (24DC), Presa Venustiano Carranza (24DD), Río Sabinas (24DE), Río Álamos (24DF), Río Salado de Nadadores (24DG), Cuatrociénegas (24DH), Arroyo Chapote (24DI) y Arroyo Huizache (24DJ).

### **3.4 Geomorfología**

En la superficie cubierta por el acuífero se pueden distinguir 4 unidades geomorfológicas: Sierras calcáreas, sierras de intrusivos, lomeríos-mesetas y valles y pies de monte.

Las sierras calcáreas son las principales elevaciones que limitan la zona de estudio. En la porción occidental y sur se localizan las sierras La Encantada, Palomino, Padilla, Nadadores, Sacramento, Del Mercado y La Gloria, mientras que en el oriente las sierras que limitan al acuífero son las denominadas La Encantada, Santa Rosa, Obayos-Hermanas y Pájaros Azules.

Todas ellas corresponden a estructuras anticlinales que muestran perfiles aserrados y altitudes mayores a 1,000 msnm, doblemente buzantes y abiertas en las formaciones del Cretácico Inferior y hasta del Jurásico Superior, como sucede en Obayos-Hermanas.

Las sierras de intrusivos están representadas por 5 intrusivos ubicados en la porción sur del acuífero, distribuidos con una orientación este-oeste, desde Candela hasta el cerro Del Mercado.

Los Lomeríos y mesetas presentan pendientes suaves y poca altura sobre el valle, desarrollados principalmente en lutitas del Cretácico Superior, como sucede al oriente de El Capulín y norte de San Marcos, así como al oriente de Monclova, entre las sierras La Gloria y Pájaros Azules. Entre los valles y pies de monte destaca el que corresponde al Valle de Monclova, que presenta ligera pendiente hacia el centro y norte, una altitud promedio de 400 msnm y limitado por las sierras Sacramento, La Gloria, Obayos-Hermanas y La Rata.

Las sierras, El Tulillo y Santa Gertrudis, también estructuras anticlinales doblemente buzantes, muestran altitudes de hasta 650 msnm; la primera abierta en la Formación Aurora y la segunda en el Grupo Washita; muestran perfiles suaves con echados menores a 20°, definiendo en planta formas cóncavas.

Las corrientes superficiales que disectan las sierras son de corta longitud, por lo general menores a 10 km y la mayoría de ellas menores a 5 km, con drenaje del tipo paralelo; en las sierras de mayor longitud predomina el drenaje de tipo enrejado. Algunos cauces profundos presentan la sección en V, característica de una etapa de juventud.

#### **4. GEOLOGÍA**

En la región afloran rocas sedimentarias e ígneas intrusivas y extrusivas. Su distribución espacial se muestra en la figura 2.

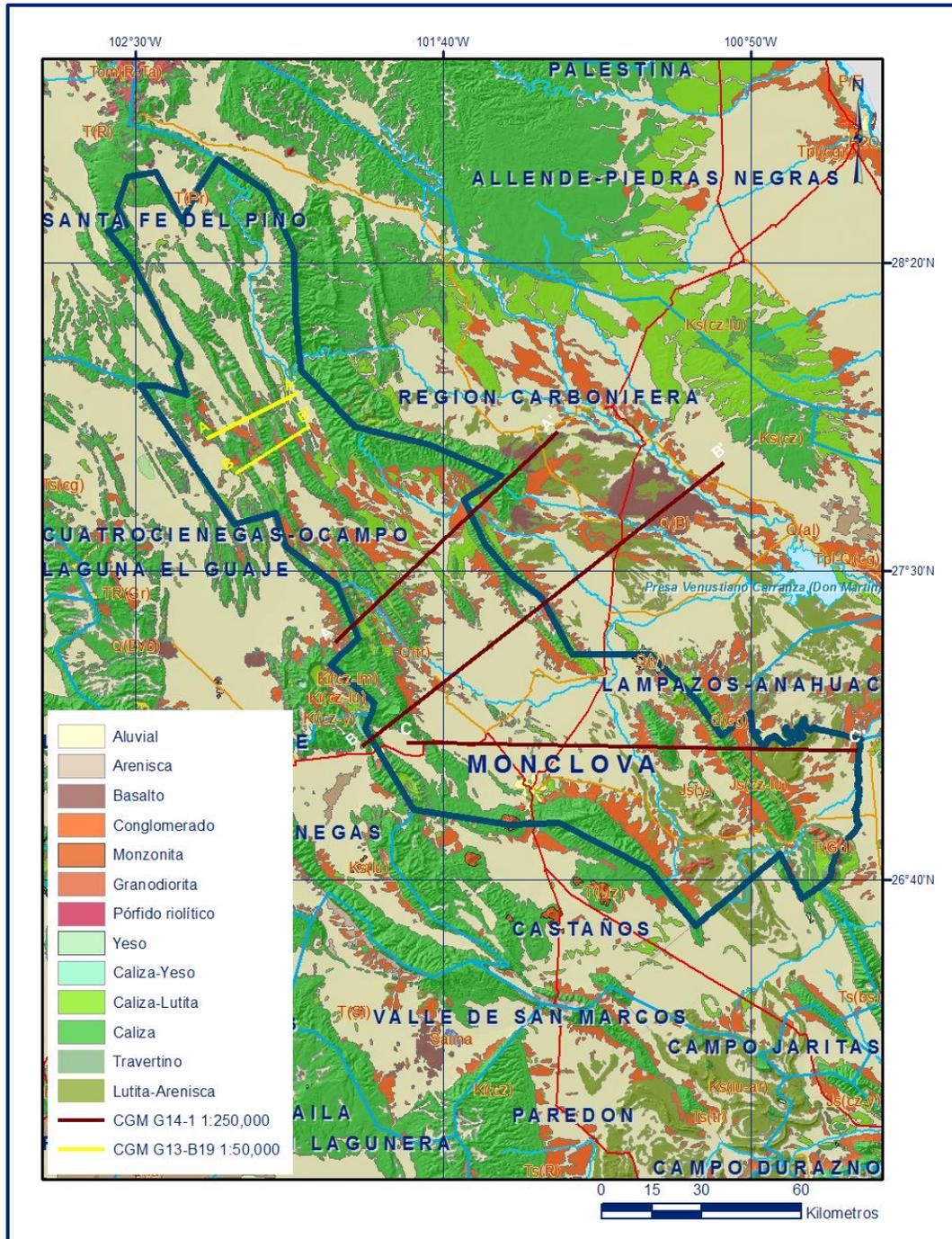


Figura 2. Geología general del acuífero

#### 4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica de la región está integrada por rocas cuyas edades varían del Jurásico al Reciente.

El Jurásico está representado por las formaciones Olvido y La Casita, mientras que el Cretácico incluye a las formaciones San Marcos, Menchaca, Barril Viejo, Padilla, La Mula, La Virgen, Cupido, La Peña, Aurora (Tamaulipas Superior), Kiamichi y el Grupo Washita (integrado por las formaciones Georgetown, Del Río y Buda), Eagle Ford, Austin, Upson, San Miguel, Olmos y Escondido. Representando al Cenozoico, aflora el Conglomerado Sabinas y del Cuaternario son los materiales aluviales. También existen intrusivos de edad terciaria.

## **JURÁSICO SUPERIOR**

La secuencia Mesozoica más antigua del Golfo de Sabinas está representada por las Formaciones Olvido y La Casita,

### **Formación Olvido**

Está constituida por intercalaciones de calizas, yesos, dolomías y lutitas que afloran en el Potrero de Obayos. Descansa sobre el conglomerado basal de la zona.

### **Formación La Casita**

Descrita por Imlay en 1936, está conformada por lutitas físis, areniscas y margas de color negro, ocasionalmente con intercalaciones de areniscas amarillentas y calizas. En su porción basal presenta lutitas con yeso de color rosa. De acuerdo con reportes de PEMEX, su espesor es muy variable, desde 100 hasta 1,000 m; en el área de Monclova es de 570 m y aflora en el núcleo de la Sierra Pájaros Azules y en el Potrero de Obayos.

## **CRETÁCICO INFERIOR**

### **Formación San Marcos**

Propuesta por Kane y posteriormente citada por Imlay en 1940. Su localidad tipo se encuentra en el Cañón de San Marcos ubicado al sur-oeste de Cuatrociénegas y consiste esencialmente de arcosas con delgadas intercalaciones de lutitas, limolitas y conglomerados de tonalidad rojiza. Se encuentra sobreyaciendo a los sedimentos de la Formación La Casita y subyaciendo a la Formación Menchaca. Tiene una edad Berriasiano, presenta un espesor de 48 m y aflora en el núcleo del anticlinal Pájaros Azules.

### **Formación Menchaca**

Definida formalmente por Imlay (1940) en su localidad tipo ubicada a 25 km al noreste de Cuatrociénegas.

Está constituida por calizas arcillosas y compactas que varían de color gris a gris oscuro, y en menor proporción en color café y verde, dispuestas en estratos delgados a medios. En la región aflora únicamente en el Potrero de Obayos; su espesor es variable, de 312 en el área de Monclova, 117 m en la Sierra de Obayos y 900 m en la Sierra Pájaros Azules.

### **Formación Barril Viejo**

Nombre propuesto por Kane y posteriormente publicado por Humphrey en 1956. Su localidad tipo se encuentra en la Sierra La Purísima.

Consiste de lutitas, lutitas arenosas y calizas arcillo-arenosas de color gris, gris verdoso y café, que en ocasiones contiene algunos horizontes de arcosas y areniscas conglomeráticas así como dolomitas y en otras lutitas negras carbonosas. Aflora en las sierras Obayos, El Capulín y Sierra Agua Chiquita. Su contenido fósil de amonitas indica que su edad corresponde al Hauteriviano Inferior. Su espesor varía de 145 en el área de Monclova a 430 m en La Sierra de Obayos.

### **Formación Padilla**

Descrita originalmente por Imlay (1940) al referirse a una secuencia de calizas de plataforma, bioclásticas, con ocasionales bancos de calizas de rudistas, en parte dolomitizadas y en parte arcillosas, cuya localidad tipo se encuentra en el Potrero Padilla y en la Sierra El Capulín.

Está constituida por calizas de plataforma y dolomitas de estratificación gruesa y color gris, así como calizas y lutitas de color gris oscuro.

En general las calizas y las dolomitas presentan gran cantidad de macrofósiles que incluyen gasterópodos y amonitas, que indican una edad correspondiente al Hauteriviano Tardío.

Estudios recientes señalan que está formada por dos miembros, el Inferior denominado también Agua Chiquita, cuya localidad tipo está en el Potrero del mismo nombre y está formado de calizas de color gris oscuro de estratificación gruesa; y el miembro superior, denominado también Obayos, constituido por dolomitas de estratos gruesos de color oscuro con algunas intercalaciones de lutitas laminadas.

### **Formación La Mula**

Definida formalmente por Imlay (1940) y después renombrada por Humphrey y Díaz en 1956. Consiste de una secuencia de lutitas y calizas estratificadas, dispuestas en estratos de espesor que varía de delgado a medio que afloran en las sierras Obayos y Santa Rosa.

### **Formación La Virgen**

Descrita por Humphrey en 1956; consiste de yesos, anhidritas y calizas. Las calizas presentan textura fina (mudstone), arcillosas, dispuestas en capas delgadas. En su porción media se ha encontrado también un potente cuerpo de caliza grainstone y en la cima los yesos son más limpios y las capas de caliza menos arcillosas. Aflora en el núcleo de la Sierra de Pájaros Azules. Tiene una edad Barremiano y su espesor varía de 335 a 740 m.

### **Formación Cupido**

Fue definida por Imlay en 1937, como una caliza gris en estratos medios y gruesos, en la Sierra de Parras, Coah. Consiste principalmente de calizas de color gris oscuro al fresco y gris azulado a la intemperie. Se encuentra ampliamente distribuida en el área de estudio, ya que junto con la Formación Aurora constituyen el núcleo de la mayor parte de las sierras, entre ellas la Sierra de Pájaros Azules y Agua Chiquita, así como alrededor de los intrusivos del Cerro del Mercado y del intrusivo que aflora al oriente de la Sierra La Gloria.

Se correlaciona con la Formación Tamaulipas Inferior, por lo que en varios trabajos de geología realizados en esta región, se le identifica con dicho nombre.

### **Formación La Peña**

Propuesta por Imlay en 1937 y posteriormente fue descrita como formación por Humphrey en 1949, para designar a una serie de calizas arcillosas y fosilíferas, que separan a los potentes bancos de calizas de las formaciones Aurora y Cupido.

Se puede dividir en dos miembros: El Miembro Inferior conformado por capas delgadas a medianas de caliza color gris claro, con nódulos de pedernal y delgadas capas de material arcilloso interestratificado.

El Miembro Superior contiene mayor cantidad del material arcilloso y los estratos de caliza se adelgazan notablemente, hasta tener una apariencia lajosa, que presenta transición a limolita calcárea.

Considerando los dos miembros, su espesor aproximado es de 60 m. Corresponde a un horizonte índice tanto por su contenido de fósiles de la familia Dufrenoya, como por encontrarse encajonada entre dos grandes cuerpos de calizas masivas correspondientes a las formaciones Aurora y Cupido. La edad que se le ha asignado es de Aptiano Superior.

### **Formación Aurora**

Está constituida por bancos de calizas de color gris claro, densa y compacta, en estratos de 2 a 4 m, dolomitizada en su parte basal, con fractura concoidea y nódulos de pedernal abundantes, sobre todo en las capas superiores. Presenta además estilolitas. Subyace concordantemente a la Formación Kiamichi y de la misma forma sobreyace a la Formación La Peña. Constituye el “espinazo” de la mayor parte de las sierras anticlinales, su distribución se puede considerar como la más amplia de las formaciones cretácicas en esta área.

Aflora en las sierras Obayos, del Tullillo y Santa Rosa. De acuerdo al contenido de macro y microfauna como *Orbitulina texana*, y por su posición estratigráfica, se le ha asignado una edad Albiano Inferior y Medio. Se correlaciona en edad con las formaciones Cuesta del Cura, Tamaulipas Superior, El Abra, Tamabra y Taninul, de la porción centro-oriental de México, y con la Formación Glen Rose de la cuenca Maverick

### **Formación Kiamichi**

Nombre utilizado originalmente por Hill, 1891, para las lutitas y margas que afloran en el Río Kiamichi del Condado de Choctaw, Oklahoma. Litológicamente, consiste de la base a la cima, de una alternancia de lutita y caliza arcillosa, ambas carbonosas y de color negro, de estratificación delgada, con concreciones de fierro. Sobre la roca anterior se presenta una caliza litográfica de color gris oscuro y negro en estratos medianos.

Posteriormente, calizas arcillosas, fétidas, color gris oscuro a negro, de estratificación mediana, con intercalaciones de lutita laminar de color negro y nódulos de pedernal de color café.

Hacia la cima los estratos se adelgazan considerablemente hasta tener espesores de 3 cm. Es común encontrar fósiles, principalmente amonitas de la familia *Oxytropidocera*, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos. Se encuentra distribuida en todas las sierras del área, en un quiebre arcilloso característico entre las formaciones Aurora y Georgetown.

### **Formación Monclova**

Está constituida por calizas dispuestas en estratos de 0.4 a 1.2 m de espesor, con abundantes fragmentos de rudistas, nerineas y otros gasterópodos. Su espesor varía de 500 a 600 m y se correlaciona con las formaciones del Grupo Washita, por lo que su edad corresponde al Albiano Superior-Cenomaniano. Aflora en la porción central del acuífero, en contacto discordante con la Formación Minas Viejas.

### **Grupo Washita**

Agrupar a las formaciones Georgetown, Del Río y Buda. En algunos sitios estas tres formaciones presentan características que permiten su diferenciación. Sin embargo, en varias áreas dentro del acuífero se encuentra mapeado como Grupo Washita Indiferenciado.

En la base de este Grupo, se encuentran sedimentos calcáreo arcillosos que constituyen a la Formación Georgetown, mientras que hacia arriba se presenta un quiebre arcilloso denominado Formación Del Río y hacia la cima se presentan calizas de la Formación Buda.

Estas formaciones afloran en toda el área y casi siempre se observan rodeando las sierras anticlinales, a manera de cinturón, y en ocasiones en sitios cercanos a algunos intrusivos. Las formaciones que lo integran se describen a continuación:

### **Formación Georgetown**

Fue descrita por Humphrey, 1956, para designar a un paquete de calizas de la base del Grupo Washita en Texas, EE.UU. En la región aflora principalmente en la Sierra de Sacramento (alrededor del Cerro del Mercado), en la Sierra La Gloria y en la porción sur de la Sierra de Santo Domingo.

Consiste de calizas delgadas a medias con abundantes lentes de pedernal.

Se divide en dos miembros. El miembro inferior consiste de caliza de textura “mudstone” a “wackstone” con globigerínidos, de estratificación gruesa y color gris claro. El pedernal que contiene en ocasiones es nodular y en otras se presenta como grandes cuerpos irregulares en la cima de la unidad.

El espesor de este miembro es de 120 a 180 m. Los 55 m del miembro superior, consisten de una caliza “grainstone” con fragmentos de conchas, “pellets” orientados y oolitas cuya textura es gradual, de muy fina en la base a gruesa en la cima. Sobreyaciendo a estas rocas, existen 40 m de caliza de textura “grainstone”, con una estratificación irregular y 10 m de caliza “wackstone” a “grainstone”, con miliólidos, fragmentos de concha y grandes gasterópodos. Sus contactos inferior y superior con las formaciones Kiamichi y Del Río, son concordantes y transicionales. Su edad es Albiano Superior-Cenomaniano Inferior y es correlacionable en edad con las formaciones Santa Elena, Salmon Peak y parte Superior de la Formación Devils River del norte de Coahuila.

### **Formación Del Río**

Descrita formalmente por Humphrey (1956), para designar a una alternancia de calizas arcillosas, delgadas y laminares de reducido espesor que descansan sobre la Formación Georgetown. Su litología consiste de rocas predominantemente arcillosas, con abundantes nódulos de pirita y un color rojizo al intemperismo. La lutita se presenta comúnmente de color verde y con fósiles como *Exogiras* y equinoideos.

Su espesor varía de 30 a 70 m, aunque varía radicalmente en afloramientos del norte de Coahuila y sur de Texas. Se considera que el depósito de esta formación se efectuó durante el Cenomaniano.

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **Formación Buda**

Fue descrita formalmente por Humphrey (1956), para designar a una caliza de textura “mudstone” de estratos medianos a gruesos, que en su porción inferior contiene de 4 a 7 m de una caliza nodular, margosa de textura “wackstone” y consistencia suave; y hacia la cima se presenta un paquete de 12 a 30 m de espesor, formado por una caliza de textura “mudstone” de color gris claro y estratificación media, uniforme. Incluye escasas alternancias de lutitas.

En el norte de Coahuila se encuentra descansando concordantemente sobre la Formación Del Río y se le considera una edad correspondiente al Cenomaniano.

### **Formación Eagle Ford**

Ferdinand Roemer (1852) la estudió inicialmente en el estado de Texas y después en Hill en 1887. Está constituida por una alternancia de lutitas calcáreas de color gris a gris oscuro y calizas de estratificación delgada. Ambas rocas tienen una estructura laminar característica y con el intemperismo forman lajas por lo cual también se le ha llamado “Laja Boquillas”.

Se erosiona fácilmente debido a su suavidad, subyace a la Formación Austin y sobreyace a la Formación Buda, ambas relacionadas de manera concordante. Se le ha designado una edad Cenomaniano Superior-Turoniano, de acuerdo con su posición estratigráfica y principalmente por fósiles característicos como: *Inoceramus Liminúscula* y *Scaphites sp.* Se puede correlacionar con la Formación Agua Nueva del centro de México.

### **Formación Austin**

Definida por Shumard (1860) como una secuencia calcáreo-arcillosa en su localidad tipo ubicada en Austin, Texas. Su litología es semejante a la de la Formación Eagle Ford, aunque su secuencia calcáreo-arcillosa o margosa puede distinguirla, ya que no presenta estructura laminar y, al intemperizarse, no forma lajas sino que su desprendimiento se efectúa en fragmentos ovoides de distintos tamaños. Hacia la base presenta calizas densas de estratificación delgada a mediana con intercalaciones de lutitas calcáreas de aspecto laminar y terroso; en tanto que hacia la cima tiende a ser más arcillosa.

Sobreyace de forma concordante a la Formación Eagle Ford y su espesor aproximado es de 200 m. Su edad Coniaciano-Santoniano está basada en los fósiles *Inoceramus undula toplicatus*, Roemer; *Durania austinensis* Roemer y *Baculites sp.*, siendo los dos últimos los que la diferencian de la Formación Eagle Ford. Los afloramientos de las formaciones Eagle Ford y Austin, se distribuyen en los valles sinclinales en las cercanías de las sierras, formando pequeños abultamientos que sobresalen levemente del llano, en sitios como el valle formado entre las sierras La Gloria, La Rata y Pájaros Azules. Se puede correlacionar con la Formación San Felipe del noreste de México

### **Formación Upson**

Fue definida por Dumble en 1892 en Texas y descrita en el Cañón de Cedral por Alvarez Jr. en 1985. Consiste principalmente de fangolitas de color gris claro a gris oscuro, con menor proporción de limolita calcárea, cuya presencia se acentúa hacia la cima de la unidad, donde contiene también algunos lentes de caliza.

En general la unidad es masiva, siendo difícil observar planos de estratificación. Se distribuye ampliamente en los alrededores de las sierras de Santa Rosa, Obayos, del Tulillo, La Gavia y Santa Gertrudis, así como en el valle que se localiza entre las sierras La Gloria y Pájaros Azules.

En El Cedral, Alvarez Jr. reporta un espesor de 130 m; en el área de estudio, PEMEX reporta un espesor de 291 m. Por su posición estratigráfica y foraminíferos identificados, se le asigna una edad Campaniano Inferior.

### **Formación San Miguel**

Descrita por Dumble (1892) en Texas. Consta de cinco unidades o miembros que han sido estudiados debido a su importancia económica, ya que contiene yacimientos de carbón. Se encuentra subyaciendo concordantemente a la Formación Olmos y es muy fosilífera. Su edad es Campaniano Superior y se puede correlacionar con la parte inferior de la Formación Méndez

### **Formación Olmos**

Constituida por lutitas y arcillas arenosas con algunas capas de arenisca, que han sido estudiadas debido a la explotación de yacimientos de carbón que contiene. Se le ha asignado una edad Maestrichtiano Inferior, correlacionable con la parte superior de la Formación Méndez. Se ha reportado un espesor promedio de 380 m, aunque en la zona de estudio su espesor es de alrededor de 60 m.

### **Formación Escondido**

Corresponde a una serie de areniscas, limolitas y lutitas que sobreyace a la Formación Olmos y que se han agrupado y definido con este nombre. Se le ha asignado una edad Maestrichtiano Superior y se correlaciona con el Grupo Difunta de la Cuenca de Parras.

## **CENOZOICO**

### **CENOZOICO (NEÓGENO)**

#### **Conglomerado Sabinas**

Esta unidad fue definida en la Región Carbonífera de Sabinas (Humphrey, 1956), para referirse a depósitos conglomeráticos que afloran a lo largo del Río Sabinas y en las partes bajas de los flancos de anticlinales, incluyendo los que aparecen en el área de estudio. Se compone de fragmentos de caliza con diámetros que varían de 5 cm a 1 m, que están cementados por arcilla y carbonato de calcio. El espesor que se le ha calculado es de 30 m.

Sobreyace discordantemente a las formaciones del Cretácico Superior y de acuerdo con su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Mioceno-Plioceno.

## **CUATERNARIO**

Está representado por depósitos aluviales y fluviales producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. Están constituidos por fragmentos subredondeados de rocas preexistentes, cementados débilmente por caliche, formando abanicos aluviales, así como gravas, arenas, limos y arcillas que rellenan los valles. Su espesor promedio es de 10 a 30 m, pero puede alcanzar hasta 100 m.

### **4.2 Geología Estructural**

Las estructuras del noreste de México se relacionan con un modelo de tectónica de placas relacionado con la apertura del Golfo de México, que inició en el Permo-triásico con el evento orogénico Ouachita-Marathon y con el rompimiento de la Pangea durante el Triásico Superior al Jurásico Medio, dando lugar a una margen pasiva que permaneció hasta el Cretácico Superior y Cenozoico Temprano, que culminó con la deformación de la Orogenia Laramide y que originó las estructuras de la provincia de pliegues y cabalgaduras del Cinturón de Empuje Mexicano, al que pertenecen los plegamientos anticlinales, sinclinales, cabalgaduras y fallas que se presentan en la región.

La deformación frágil y dúctil está presente en los anticlinales y sinclinales, así como en las cabalgaduras cuyo origen se relaciona con la Orogenia Laramide, a fines del Cretácico Superior al Eoceno. Algunas rocas, como las lutitas, limolitas, yesos y unidades litológicas de composición calcáreo-arcillosa, presentan una ligera deformación dúctil.

En la región los anticlinales importantes son los que se conocen con los nombres de Obayos, Santa Rosa y El Tullillo, Pájaros Azules, La Rata y Hermanas, orientados con rumbo general noroeste-sureste. En la porción sur del acuífero se localiza una cabalgadura que pone en contacto a las Formación Minas Viejas del Jurásico Superior con las formaciones Georgetown del Albiano Superior-Cenomaniano Inferior (Carta Geológico-Minera Primero de Mayo G14-A43. Escala 1:50,000. SGM, 2005

Las estructuras que se observan en la región están relacionadas con un régimen compresivo originado por la Orogenia Laramide a finales del Cretácico y principio del Neógeno, la cual fue ocasionada por la subducción y rápido desplazamiento de la Placa Norteamericana hacia el oeste y la Placa Farallón hacia el este.

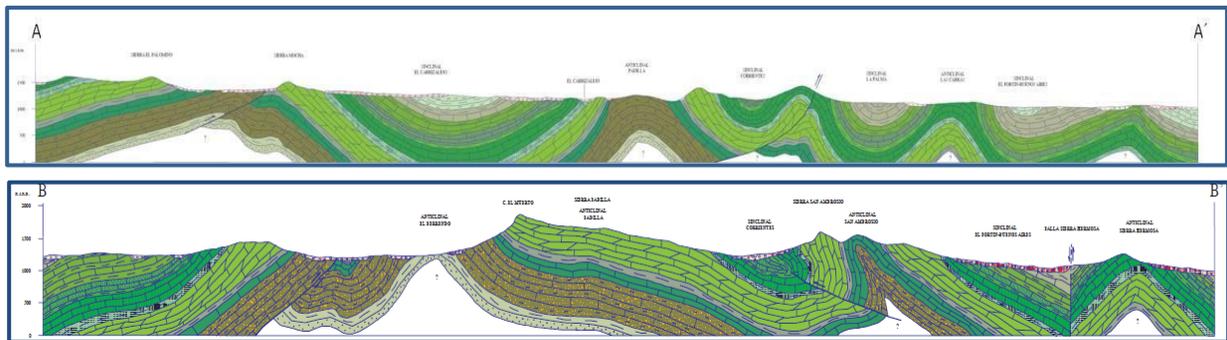
En la región terminó de actuar hasta el Eoceno, generando una deformación compresiva con dirección NW-NE, otras estructuras corresponden a eventos distensivos manifestados durante el Cenozoico. Las estructuras observadas corresponden a anticlinales y sinclinales alargados, orientadas en dirección general NW-SE, relativamente angostos, de flancos asimétricos, algunos recostados y recumbentes, afectados por fallas. La región se ubica en el Terreno Coahuila (Campa y Coney, 1983); paleogeográficamente en el límite de la Isla La Mula y dentro del Golfo de Sabinas (Carta Geológico-Minera El Carrizalejo G13-B19. Escala 1:50,000. SGM, 2006).

### **4.3 Geología del subsuelo**

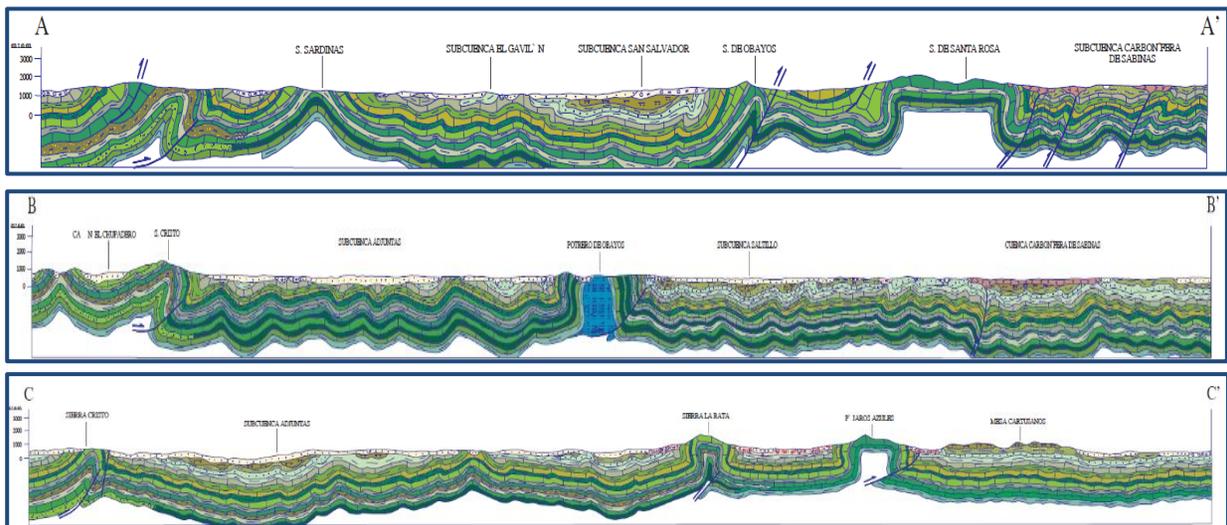
De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, así como con la información obtenida a partir de cortes litológicos de algunos pozos, se establece que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte de granulometría variada así como conglomerados polimícticos, producto del intemperismo de rocas preexistentes, que constituyen el lecho y llanura de inundación de los ríos Salado, Nadadores y Monclova, que rellenan los amplios valles.

Los depósitos granulares y conglomeráticos tienen varios cientos de metros de espesor hacia el centro de los valles y fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas que se produjeron durante la Orogenia Laramídica.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias calcáreo-arcillosas de edad Cretácico Superior, compuesta por lutitas, limolitas, areniscas y calizas arcillosas de las formaciones Escondido, Olmos San Miguel, Upson, Austin, Eagle Ford y Grupo Washita, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. A mayor profundidad las calizas constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución, así como condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. El basamento geohidrológico del acuífero aluvial está representado por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer el fracturamiento a profundidad, y por los yesos con intercalaciones de calizas arcillosas, lutitas y limolitas de la Formación La Virgen (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera "El Carrizalejo" G13-B19" Esc. 1:50,000 (SGM, 2006)



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

Figura 3. Secciones geológicas esquemática

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir que el acuífero aluvial es de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada y por conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar algunos cientos de metros hacia el centro de los valles.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que en su litología se presentan alternancias con lutitas y limolitas. A mayor profundidad las calizas constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento, disolución y condiciones de confinamiento, debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas. Su existencia y potencial se ha comprobado en pozos perforados en las formaciones Cupido y Aurora.

### **5.2 Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2012 se ejecutaron 4 pruebas de bombeo; adicionalmente se recopiló información de 5 pruebas realizadas en el estudio llevado a cabo en 2007, 10 más ejecutadas por MICARE en 2006, así como aforos realizados por AHMSA (2011) en pozos perforados en calizas. Las pruebas de bombeo fueron de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de la transmisividad varían de  **$1.0 \times 10^{-5}$  a  $35.1 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s**. Los valores bajos ( $1.0 \times 10^{-5}$  a  $0.1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s) corresponden a lutitas, que se comportan geohidrológicamente como acuitardo.

Los valores medios ( $1.0$  a  $10.0 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s) generalmente representan a los aluviones y los valores altos ( $30.0 \times 10^{-3}$  a  $35.1 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s) corresponden a aprovechamientos que explotan arenas de cauces de inundación de ríos y calizas. Los valores de conductividad hidráulica, considerando la composición litológica de los depósitos que rellenan los valles y el espesor saturado, varían en orden de magnitud entre  **$10^{-6}$  m/s** y  **$10^{-2}$  m/s** y el coeficiente de almacenamiento entre **0.01** y **0.2**.

### 5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles de agua subterránea, se cuenta con la información recabada del periodo 2007-2012.

### 5.4 Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático en 2012 muestra que los valores varían de 10 m, que se registran en la zona central del acuífero comprendida entre los poblados San Buenaventura y Ejido Primero de Mayo, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia las estribaciones de las sierras que delimitan los valles, hasta los 50 m que se midieron al oeste de Monclova y de Lamadrid.

En la porción sur del valle los valores fluctúan entre los 10 y 30 m (figura 4).

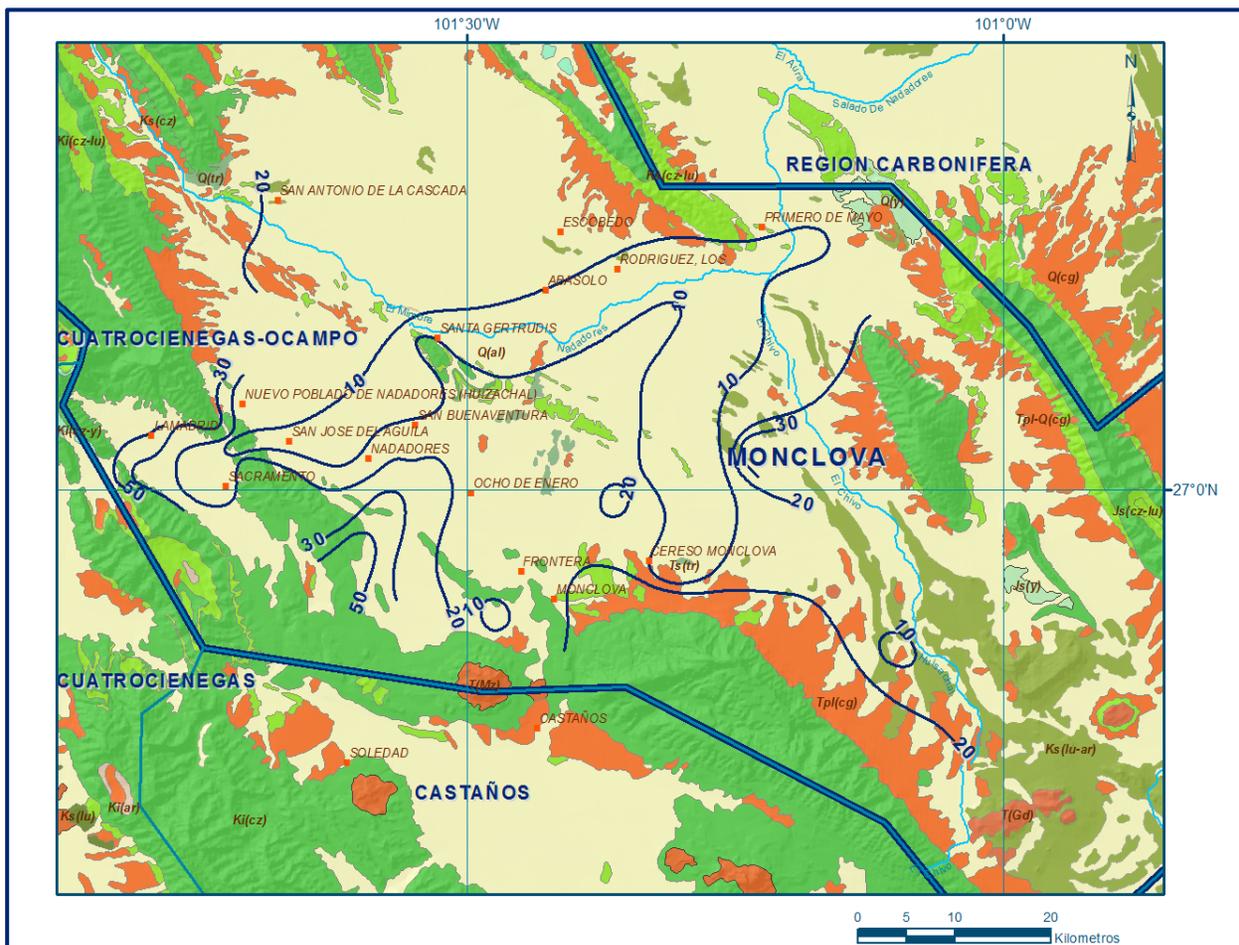


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2012)



### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2007-2012, se observa que en la mayor parte de la superficie de explotación se registraron recuperaciones debido a que en dicho periodo se registraron lluvias extraordinarias.

En casi todo el valle la recuperación fue de 5 a 10 m, que representan un promedio anual de 1 a 2 m; que se manifiestan en los hidrógrafos de pozos y el artesianismo. Esta zona comprende desde Lamadrid, el Ejido La Cascada y San Buenaventura hasta Monclova y el Ejido Primero de Mayo (figura 6).

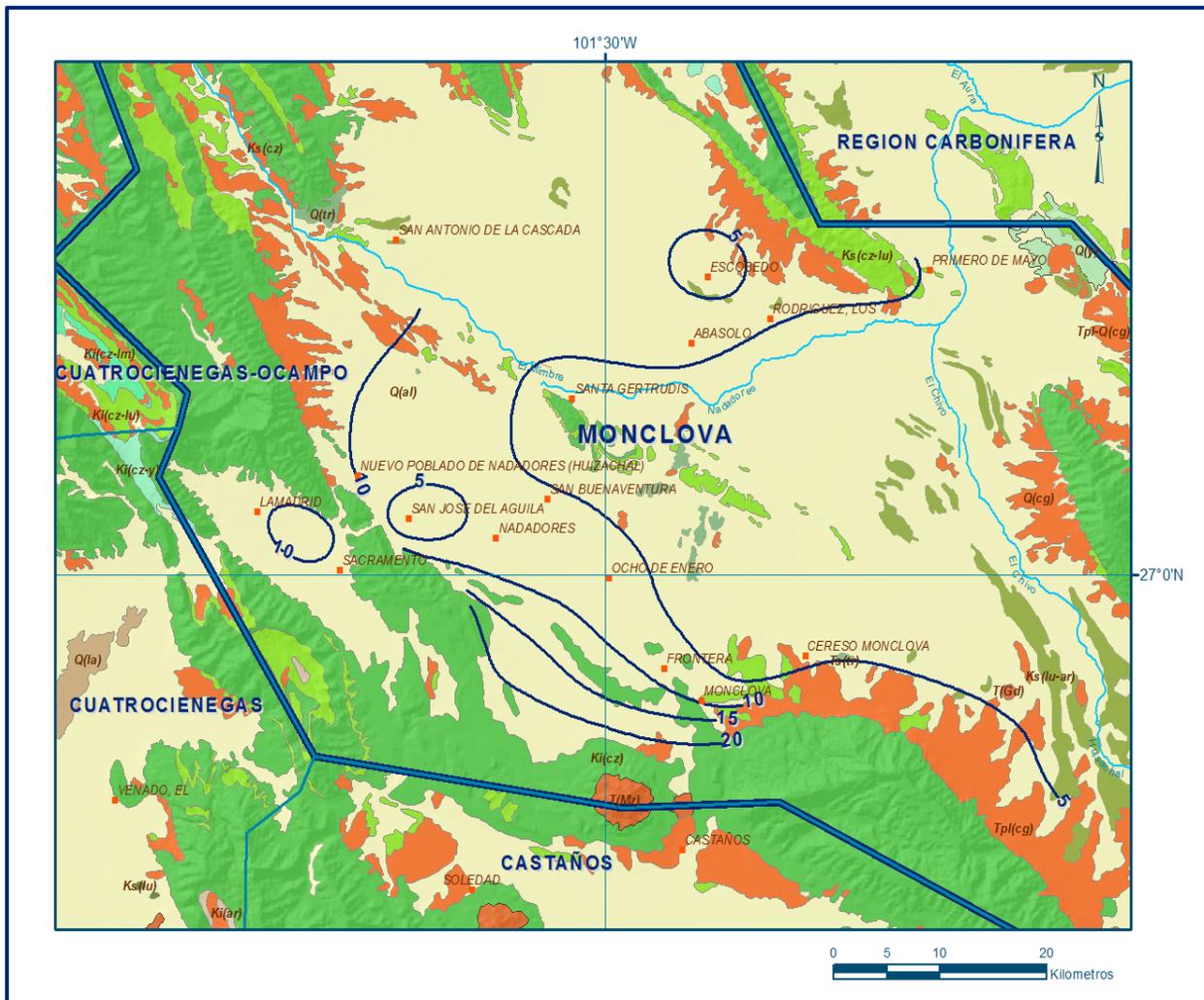


Figura 6. Evolución del nivel estático (2007-2012)

## **5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte del estudio realizado en 2012 se obtuvieron 41 muestras de agua subterránea aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Adicionalmente se dispone de los resultados de los análisis realizados en los estudios llevados a cabo por MICARE (2006) y CONAGUA (2007). Las determinaciones incluyeron iones principales, temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno (pH), Eh, Dureza Total, Sólidos Totales Disueltos; para las muestras de 2012 incluyó la determinación de arsénico.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, la mayoría de muestras de agua superan el límite máximo permitido (LMP) de sólidos totales disueltos (STD) que es de 1,000 mg/l, establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022., ya que su concentración varía de 352 a 4,700 mg/l.

En dos muestras obtenidas en 2006 se presentaron concentraciones de STD mayores a 6,000 mg/l (6,650 y 10,980 mg/l), asociadas a la presencia de yesos. Las concentraciones que superan los límites máximos permisibles que establece la norma oficial mexicana, además de los STD, son sodio, cloruros y sulfatos, que son de 200, 250 y 400 mg/l, respectivamente. No se detectó la presencia de arsénico en ninguna de las muestras de agua.

En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica como dulce a salobre, de acuerdo al criterio establecido por la American Public and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 683 a 7,660  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los mayores valores de concentración de STD y de conductividad eléctrica se registran en la porción central del acuífero; en tanto que las menores se localizan hacia las zonas de recarga que se ubican al sur y en los flancos noroccidental y suroriental. Ambos valores se incrementan gradualmente, de manera general, en la dirección del flujo subterráneo sur-norte y suroeste-noreste. La temperatura varía de 18.5 a 31.0 °C y el pH de 5.1 a 8.9.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, predomina la familia cálcica-sulfatada y en menor proporción cálcica-bicarbonatada. La primera se debe a la existencia de yesos y anhidritas (sulfatos de calcio) que se caracterizan por su fácil disolución, precipitación y acumulación entre los aluviones de las partes topográficamente bajas. Es típica su presencia en las zonas áridas.

La segunda familia representa agua de reciente infiltración, con periodos cortos de residencia, que ha circulado a través de rocas calcáreas.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), la mayor parte de las muestras de agua se clasifican como  $C_3S_1$ , que representa alto contenido de sales y baja concentración de sodio intercambiable, seguida por el tipo de agua  $C_4S_1$ , agua de contenido muy alto de sales y baja concentración de sodio intercambiable. En menor proporción se presenta agua de tipo  $C_2S_1$  que representa contenido medio de sales y bajo contenido de sodio intercambiable. Este último tipo de agua se considera apta para el uso agrícola, a diferencia de los dos primeros tipos que sólo se podrían utilizar en cultivos tolerantes a las sales en suelos permeables y requerir lavado de ellos para evitar el riesgo de salinización.

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

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2012, complementado con los realizados por MICARE (2006) y CONAGUA (2007), se registraron un total de 560 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 513 son pozos, 29 norias, 17 manantiales y 1 tajo; del total de aprovechamientos, 471 se encuentran activos y 89 inactivos. De las obras activas, 225 se utilizan en la agricultura, 124 para abastecimiento de agua potable, 106 para uso doméstico-abrevadero y 16 para uso industrial.

El volumen de extracción estimado es de **98.5 hm<sup>3</sup> anuales** en toda la superficie del acuífero, incluidos los 59.8 que se extraen de las calizas; de los cuales 55.5 hm<sup>3</sup> (56.3 %) son para uso público-urbano, 27.0 hm<sup>3</sup> (27.4 %) para uso agrícola, 14.6 hm<sup>3</sup> (14.8 %) para uso industrial y 1.4 hm<sup>3</sup> (1.4 %) para uso doméstico-abrevadero. Adicionalmente, a través de **manantiales** se descarga un caudal de 635 lps, es decir un volumen promedio anual de **20.0 hm<sup>3</sup> anuales**, que se utilizan prácticamente en su totalidad para la agricultura.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2007-2012, en una superficie **3,600 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

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa es la siguiente:

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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:

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

### 7.1 Entradas

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

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (Ri).

### 7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

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

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- Ri:** Recarga incidental
- Rr:** Retornos de riego
- Dm:** Descarga a través de manantiales
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- $\Delta V(S)$ :** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

### 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Las entradas al acuífero, tienen su origen en las zonas de recarga localizadas en las sierras que rodean al valle.

Para el cálculo de entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2012, mostrada en la figura 5.

Con base en ella se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

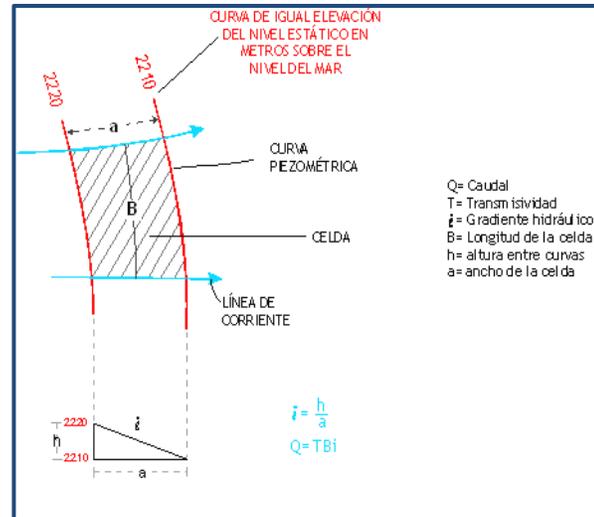
Donde:

**Q** = Caudal

**T** = Transmisividad en el canal de flujo

**B** = Largo del canal de flujo

**i** = Gradiente hidráulico (i)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **23.0 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal (2012)

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	6220	1560	20	0.01282	0.0005	0.0399	1.3
E2	12255	1815	20	0.01102	0.0005	0.0675	2.1
E3	7190	1625	20	0.01231	0.0004	0.0354	1.1
E4	11245	1270	20	0.01575	0.0004	0.0708	2.2
E5	11935	1380	20	0.01449	0.0004	0.0692	2.2
E6	4935	1550	20	0.01290	0.0007	0.0446	1.4
E7	4265	2005	20	0.00998	0.0007	0.0298	0.9
E8	15820	1240	20	0.01613	0.0004	0.1021	3.2
E9	11760	1424	20	0.01404	0.0004	0.0661	2.1
E10	11430	2320	20	0.00862	0.0004	0.0394	1.2
E11	7975	1425	20	0.01404	0.0004	0.0448	1.4
E12	7710	1615	20	0.01238	0.0004	0.0382	1.2
E13	12910	2905	20	0.00688	0.0004	0.0356	1.1
E14	5865	1950	20	0.01026	0.0004	0.0241	0.8
E15	4720	1285	20	0.01556	0.0003	0.0220	0.7

Los valores de T utilizados corresponden al promedio de los obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas tanto en este acuífero como en otros acuíferos vecinos, adaptados al espesor saturado de las celdas de flujo.

### **7.1.3. Recarga incidental (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 láminas de riego por cultivo, se consideró que un 10% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga incidental a la unidad somera del acuífero, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea de 10 a 20 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de permeabilidad baja en el subsuelo. El volumen total de agua destinada a la agricultura es de 47.0 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 27.0 hm<sup>3</sup>/año corresponden a la extracción de agua subterránea y 20.0 hm<sup>3</sup>/año al volumen procedente de manantiales. Si consideramos que el 10 % del volumen aplicado al uso agrícola retorna como recarga efectiva al acuífero, el valor de Rr es de 4.7 hm<sup>3</sup>/año.

Por otra parte, el volumen anual de agua subterránea para uso público-urbano es de 55.5 hm<sup>3</sup>/año, tomando en cuenta que existe baja eficiencia en el sistema de la red de abastecimiento de agua potable, a que la profundidad al nivel del agua subterránea en la zona urbana de Monclova es en promedio de 25 m y baja permeabilidad del subsuelo, 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 5.6 hm<sup>3</sup> anuales. Por lo tanto,  $R_i = 4.7 + 5.6 = 10.3$ , **Ri = 10.3 hm<sup>3</sup>/año.**

## **7.2 Salidas**

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

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

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **98.5 hm<sup>3</sup> anuales.**

### 7.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificaron 17 manantiales que en conjunto descargan un caudal promedio de 635 lps, que representan un volumen anual de **20.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.3 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 del 2012, mostrada en la figura 5.

En la tabla 3 se muestra el detalle del cálculo. El volumen total de salidas por flujo subterráneo horizontal asciende a **4.9 hm<sup>3</sup>/año**.

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	5485	2600	20	0.00769	0.0007	0.0295	0.9
S2	4775	4000	20	0.00500	0.0010	0.0239	0.8
S3	3030	6185	20	0.00323	0.0020	0.0196	0.6
S4	1120	6525	20	0.00307	0.0030	0.0103	0.3
S5	4055	7905	20	0.00253	0.0030	0.0308	1.0
S6	2925	4670	20	0.00428	0.0020	0.0251	0.8
S7	2110	1900	20	0.01053	0.0007	0.0155	0.5

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2012)

### 7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático registrada durante el periodo 2007-2012 (figura 6). Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico Sy de 0.005, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

**ΔVS**= 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)

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento para el periodo es de 108.6 hm<sup>3</sup>, por lo que el promedio anual es de **21.7 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (2007- 2012)

<b>Evolución media (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Sy</b>	<b>ΔV(S) (hm<sup>3</sup>/año)</b>
2.5	1207.8	0.005	15.1
7.5	2249.1	0.005	84.3
12.5	132.7	0.005	8.3
17.5	10.4	0.005	0.9
<b>Área Total</b>	<b>3600</b>	<b>Total</b>	<b>108.6</b>
	<b>Promedio anual</b>		<b>21.7</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:

$$\begin{aligned}
 R_v &= B + S_h + D_m - E_h - R_r - R_i \pm \Delta V(S) \\
 R_v &= 98.5 + 4.9 + 20.0 - 23.0 - 4.7 - 5.6 + 21.7 \\
 R_v &= 111.8 \text{ hm}^3/\text{año}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 R &= R_v + E_h + R_r + R_i \\
 R &= 111.8 + 23.0 + 4.7 + 5.6 \\
 R &= 145.1 \text{ hm}^3/\text{año}
 \end{aligned}$$

## 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:

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

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. Para este caso, su valor es de **145.1 hm<sup>3</sup>/año**.

### 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 este caso, su valor es de **DNC = 24.9 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 **145,036,019 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 145.1 - 24.9 - 145.036019 \\ \text{DMA} &= -24.836019 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **24,836,019 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2002. Estudio Geomorfológico Estructural y de Hidrogeología Cárstica en el Acuífero de Monclova, estado de Coahuila, Realizado por Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente S.C. (SIIMA).

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