



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO REGIÓN CARBONÍFERA (0512), ESTADO
DE COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	10
4.1 Estratigrafía.....	11
4.2 Geológica estructural.....	19
4.3 Geología del subsuelo.....	20
5. HIDROGEOLOGÍA.....	21
5.1 Tipo de acuífero.....	21
5.2 Parámetros hidráulicos.....	21
5.3 Piezometría.....	22
5.4 Comportamiento hidráulico.....	22
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	22
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	23
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	24
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	24
6. CENSO DE APROVECHAMIENTO E HIDROMETRIA.....	26
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	26
7.1 Entradas.....	27
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	27
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	28
7.2 Salidas.....	29
7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	29
7.2.2 Bombeo (B).....	30
7.2.3 Descarga por flujo base de los ríos (Dfb).....	30
7.2.4 Descarga por manantiales (Dm).....	30
7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	30
8. DISPONIBILIDAD.....	31
8.1 Recarga total media anual (R).....	31
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	31
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	32
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).....	32
9. BIBLIOGRAFÍA.....	33

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 Región Carbonífera, definido con la clave 0512 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción Noreste en el estado de Coahuila, entre los paralelos 27° 03´ y 28° 58´ de latitud norte y los meridianos 100° 16´ a 102° 31´ de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 15,754 km². Limita al noroeste con los acuíferos Serranía del Burro y Santa Fe del Pino, al norte con Allende-Piedras Negras, al este con los acuíferos Allende-Piedras Negras e Hidalgo, al oeste y sur el acuífero Monclova, todos ellos pertenecientes al Estado de Coahuila; al sureste limita con el acuífero Lampazos-Anáhuac, perteneciente al Estado de Nuevo León (figura 1).

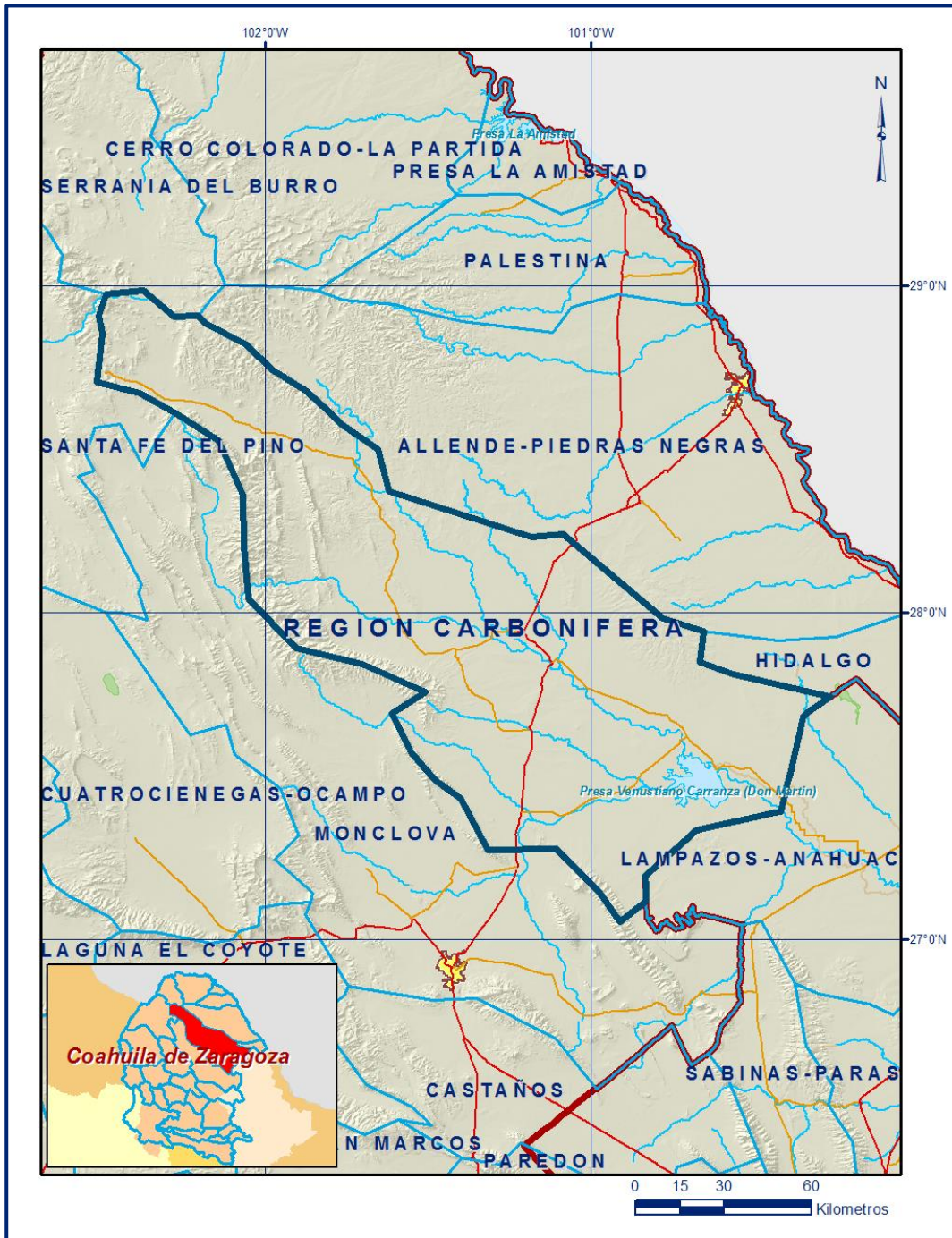


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente abarca en su totalidad los municipios Múzquiz, Sabinas, San Juan de Sabinas, Progreso y Juárez, y parcialmente los municipios Villa Unión, Escobedo y Morelos, todos ellos pertenecientes al Estado de Coahuila.

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 0512 REGION CARBONIFERA							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	3	9.2	28	2	36.7	
2	102	3	59.7	28	12	116	
3	102	4	110	28	21	34.3	
4	102	8	34.9	28	31	318	
5	102	16	36.1	28	36	44.5	
6	102	23	10.2	28	40	210	
7	102	31	5.3	28	42	22.5	
8	102	29	59.2	28	51	13.6	
9	102	30	40.4	28	54	28.7	
10	102	29	15.4	28	58	27.4	
11	102	22	27.4	28	59	6.4	
12	102	16	49.3	28	54	20.3	
13	102	12	16.4	28	54	33.3	
14	102	10	52.2	28	52	58.7	
15	102	3	43.7	28	49	24.0	
16	101	58	28.9	28	44	17.6	
17	101	52	35.7	28	40	48.0	
18	101	47	49.9	28	36	32.9	
19	101	46	19.6	28	34	47.9	
20	101	39	18.9	28	29	59.3	
21	101	37	15.9	28	22	14.6	
22	101	10	58.8	28	13	57.2	
23	101	5	6.7	28	14	19.7	
24	100	46	48.5	27	59	13	
25	100	39	17.3	27	56	33.4	
26	100	40	15	27	50	58.2	
27	100	33	48.0	27	48	44.6	
28	100	16	5.0	27	44	32.2	DEL 28 AL 29 POR EL LÍMITE ESTATAL
29	100	49	54.4	27	7	9.6	
30	100	54	48.0	27	3	22.9	
31	100	58	39.5	27	9	3.0	
32	101	6	23.0	27	16	35.5	
33	101	19	5.2	27	16	34.4	
34	101	24	6.0	27	25	52.6	
35	101	28	45.8	27	29	20.1	
36	101	33	4.1	27	34	16.7	
37	101	36	40.9	27	41	35.4	
38	101	30	33.2	27	45	29.6	
39	101	42	9.9	27	50	310	
40	101	54	17.0	27	53	25.9	
1	102	3	9.2	28	2	36.7	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Región Carbonífera, pertenece al Organismo de Cuenca VI Rio Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. En su superficie completa 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. En una porción de la zona sureste del acuífero se localiza el Distrito de Riego 004 denominado Don Martín. No se encuentra constituido hasta la fecha Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el territorio que comprende el acuífero se han llevado algunos estudios hidrogeológicos y actualizaciones sobre disponibilidad de agua subterránea, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA CARBONÍFERA, ESTADO DE COAHUILA. Elaborado por la empresa AGROGEOLOGÍA, S. A., en 1977 para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Representa el primer estudio geohidrológico de la región, que incluyó censo de aprovechamientos, geología, interpretación de fotografías aéreas, pruebas de bombeo y un balance de aguas subterráneas en el que se basó la determinación de la disponibilidad para su publicación en 2003.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CENTRAL CARBOELÉCTRICA DE PALAU, COAH. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V. para Minerales Monclova, S. A. de C.V. (MIMOSA) en 1997. Tuvo como objetivo identificar sitios adecuados para la perforación de pozos para el abastecimiento de agua a la central carboeléctrica. Identifica dos unidades acuíferas alojadas en los depósitos aluviales y en rocas calizas y recomendó tres sitios para realizar perforaciones exploratorias.

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO REGIÓN CARBONÍFERA DE COAHUILA, elaborado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, en 2002. En este documento se presentan datos geológicos e hidrogeológicos generales de la Región Carbonífera de Coahuila, que incluyen un balance del agua subterránea y el cálculo de la disponibilidad, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. Se determinó que la región no tenía disponibilidad, por el contrario, el déficit era de 16 hm³/año.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO REGIÓN CARBONÍFERA, EN EL ESTADO DE COAHUILA, elaborado por la empresa LESSER y Asociados S.A. de C.V., para la empresa AHMSA en 2011. El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el análisis de la evolución de los niveles del agua; obtener información necesaria para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas. 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 localiza en 2 Provincias Fisiográficas. La primera, que cubre su porción oeste, es la Provincia Fisiográfica V Sierra Madre Oriental y la segunda, que cubre el área orientada, es la Provincia Fisiográfica VI Grandes Llanuras de Norteamérica.

La Provincia 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 forman valles en su centro. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados.

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 los EE.UU. 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. En algunas localidades afloran cuerpos intrusivos (Burgos, Tamaulipas). Las fallas normales y las fracturas, que afectan tanto a las rocas ígneas como a las sedimentarias, siguen patrones orientados, algunos al noreste-suroeste y otros al noroeste-sureste.

A principios del Cenozoico hubo un fuerte depósito de sedimentos transportado por los ríos en la llamada cuenca de Burgos, lo que originó la regresión marina hacia el oriente, que continúa hasta hoy; así, las rocas más antiguas están depositadas al occidente y los depósitos más recientes al oriente. Las rocas más importantes son lutitas y areniscas. La porción coahuilense de esta provincia está constituida por rocas sedimentarias en su mayor parte, aunque también existen pequeños afloramientos ígneos, así como extensos depósitos aluviales que cubren las grandes llanuras de la zona.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, en el área del acuífero Región Carbonífera predominan 2 tipos de climas. Uno en la parte central y sureste, clasificado como $BS_0(h')hw(x')$ que corresponde clima seco, muy cálido y cálido, con lluvias en verano que alcanzan entre el 5 y el 10.2 % de la precipitación anual.

Hacia el noroeste del área cubierta por el acuífero, el clima cambia al tipo BS₁hw, que se clasifica como semiseco, semicálido, con lluvias en verano.

La temperatura media anual en la porción noroeste varía de 18 a 20°C; en la parte central (Múzquiz-Sabinas) su promedio es de 21°C y en la porción sureste (Presa Venustiano Carranza) es de 23°C.

La precipitación media anual en la porción noroeste varía entre 400 y 600 mm; en la parte central (Múzquiz-Sabinas) de 500 a 600 mm y en la región sureste (Presa Venustiano Carranza) es menor de 400 mm.

El periodo de lluvias se registra de mayo a octubre, con una temperatura promedio de 21°C y 36°C, con una precipitación de poco más de 400 mm anuales en la mitad noroeste del acuífero y poco menos de 400 mm en la mitad sureste del área, mientras que el periodo de estiaje se presenta de noviembre a abril. La lluvia hacia Múzquiz y en la Presa Venustiano Carranza presenta un promedio anual de 100 mm y en el resto del área es menor de 100 mm, con una temperatura de 6°C a 27°C.

3.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, cuenca Presa Falcón-Río Salado.

La Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos se localiza al Norte del país en la parte central de América del Norte, su cauce principal y la frontera entre los Estados Unidos de América y los Estados Unidos Mexicanos es el Río Bravo, que comprende desde las ciudades de El Paso, Texas y Ciudad Juárez, Chihuahua, hasta su desembocadura en el Golfo de México; tiene una superficie de escurrimiento de 226,275 km². En el estado existen alrededor de 15 presas, las dos más importantes son la Presa de La Amistad y la Presa Venustiano Carranza, conocida también como Don Martín.

La cuenca Presa Falcón-Río Salado es la más extensa de la Región Hidrológica, tiene una topografía abrupta en el oeste, determinada por la Sierra Madre Oriental, la superficie restante está constituida principalmente por lomeríos y grandes zonas planas desérticas. Su extensión en el estado es de 4,600 km². El principal colector en la cuenca es el Río Salado, cuyo régimen es perenne, se origina en la confluencia de los ríos Sabinas y Salado o Nadadores, donde se construyó la presa Venustiano Carranza, la cual tiene una capacidad de 1,368 hm³.

3.4 Geomorfología

En la superficie cubierta por el acuífero se pueden distinguir 6 unidades geomorfológicas: sierras calizas; lomeríos en calizas, lutitas y areniscas; lomeríos en conglomerados; volcanes y mesetas de basalto; planicies lacustres y valles.

Sierras Calizas. - Las principales sierras de la región se encuentran en el límite poniente del acuífero. Corresponden a la Sierra Santa Rosa, Sierra Obayos-Hermanas y Sierra Pájaros Azules. Están formadas por anticlinales en calizas del Cretácico. En general presentan formas redondeadas con pendientes fuertes, interceptadas por arroyos que llegan a formar cañones. Sobre los flancos de estas sierras, existe un drenaje paralelo en los cuales circula el agua superficial en época de lluvias.

En el norte del acuífero se encuentra la Sierra del Burro que corresponde a un anticlinal de forma cómica con flancos de suave pendiente. En la porción SW de esta sierra se encuentra una falla que coincide con el límite del acuífero, donde la topografía es más abrupta, con elevaciones de hasta 1,260 msnm y a 510 m sobre los valles circundantes. A la porción sur se le conoce como Sierra del Infante. La mayor parte de la Sierra del Burro se eleva a 800 msnm.

Lomeríos en calizas, lutitas y areniscas. - Se pueden distinguir dos tipos de lomeríos. Uno correspondiente a lomeríos menores, formados en lutitas y areniscas del Cretácico Superior que se encuentra en gran parte del centro del acuífero; el otro tipo corresponde a un lomerío de grandes dimensiones conocido como Lomerío de Peyotes, formado por calizas. Los lomeríos en lutitas y areniscas presentan formas suaves, redondeadas, que se elevan entre 10 y 60 m sobre los valles.

En la zona comprendida entre Múzquiz y Sabinas, son frecuentes las elevaciones topográficas, onduladas, de poca pendiente, que se elevan de 20 a 40 m sobre los valles. Corresponden a remanentes de erosión de las formaciones del Cretácico Superior (Olmos, San Miguel y Escondido). Por otra parte, el Lomerío de Peyotes, corresponde a un anticlinal de forma cómica y flancos de suave pendiente, que en el centro y parte alta se eleva a 700 msnm y a 350 m sobre el valle de Sabinas-Nueva Rosita. Tiene una forma elíptica con su eje mayor en dirección NW-SE y 70 km de longitud por 30 km en su eje menor.

Lomeríos en conglomerados y pies de monte: entre los ríos Álamos y San Juan, se encuentran afloramientos de conglomerados de la Formación Sabinas- Reynosa, cubriendo a sedimentos del Cretácico Superior. Forman lomeríos de suave pendiente y formas redondeadas que se elevan a hasta 40 m sobre el nivel de los valles adyacentes.

En los límites entre las sierras y los valles, se encuentran depósitos de pie de monte, en algunos de ellos se han desarrollado típicos abanicos aluviales.

Volcanes y mesetas de basalto. - En el centro del área comprendida por el acuífero, se encuentran una serie de mesetas correspondientes a coladas de lavas basálticas, cuya superficie plana y horizontal está limitada por escarpes de 10-30 m de alto y por una franja de lutitas y areniscas del Cretácico Superior que han sido protegidas de la erosión por las corrientes de lava. Al oriente de Barroterán, se encuentra un volcán conocido como Loma Kakanapo que tiene dos centros de erupción. Corresponden a volcanes formados por lavas de composición basáltica, que dan origen a conos de suave pendiente, que se llegan a elevar a alrededor de 480 msnm y a 80 m sobre el valle que los circunda. Estas lavas basálticas se extienden alrededor de los volcanes, dando origen a mesetas.

Planicies lacustres. - Al noreste de la Presa Venustiano Carranza, se encuentran planicies endorreicas, en las cuales se acumula agua en tiempo de lluvias, formando lagunas efímeras que pierden su agua por evaporación y dejan un residuo o azolve arcilloso y salino, son planicies sin drenaje superficial.

Valles. - En ocasiones su continuidad es interrumpida por lomeríos, están limitados al norte y oeste por grandes sierras. Presentan forma plana, con ligera inclinación hacia el sureste, en su transición hacia las sierras. Los valles en la porción norte (Múzquiz) se encuentran en promedio a 500 msnm y el terreno desciende gradualmente en dirección al sur-sureste, hacia Juárez y Presa Venustiano Carranza, hasta 300 msnm.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona está representada principalmente por rocas calcáreas del Jurásico y Cretácico y en menor proporción por intrusivos del Cenozoico y materiales aluviales del Cenozoico y Cuaternario. Figura 2.

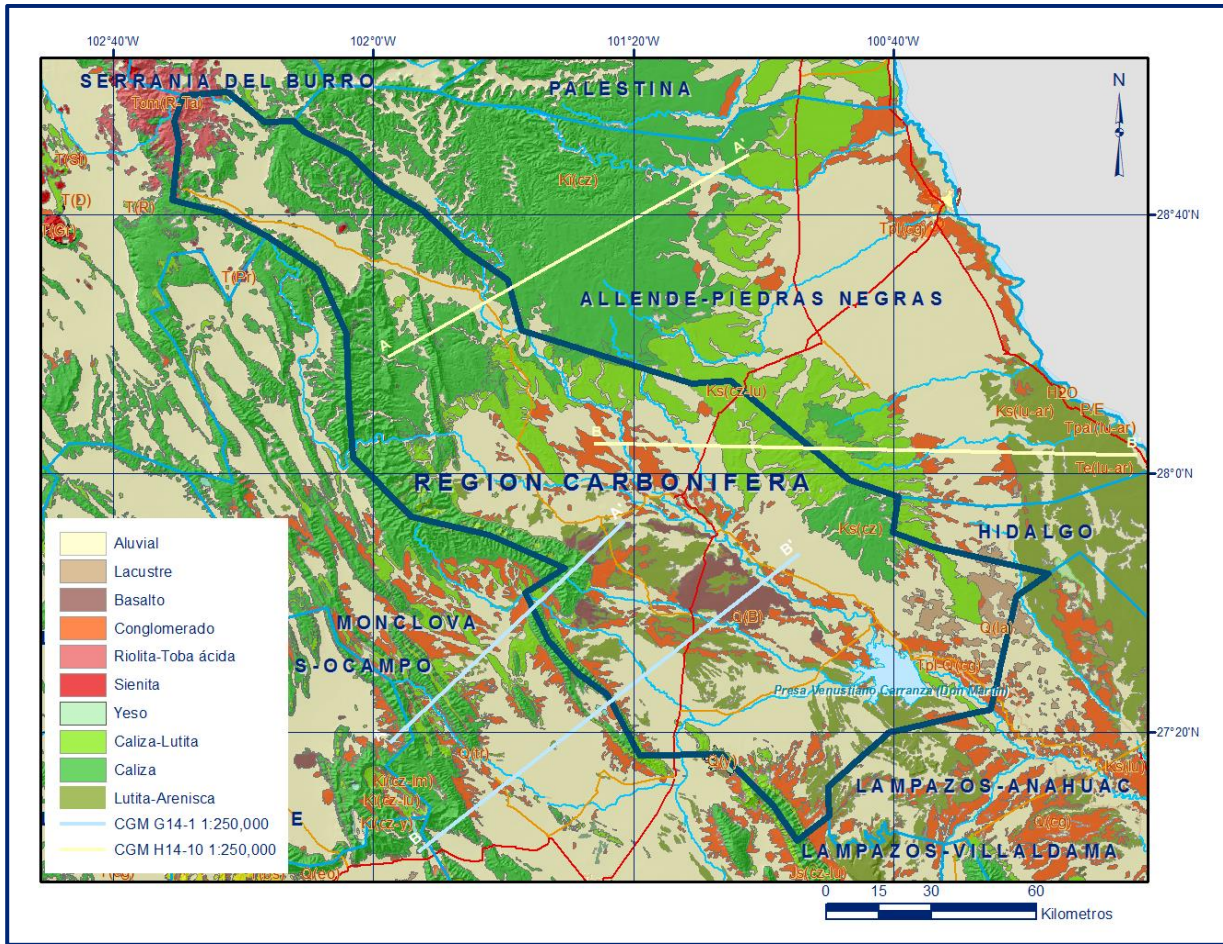


Figura 2. Geología general del acuífero

El Jurásico está representado por la formación La Casita; el Cretácico Medio e Inferior por las formaciones Taraises, La Virgen, La Mula, Cupido, La Peña, Aurora (Tamaulipas Superior), Kiamichi y el Grupo Washita (integrado por las formaciones Georgetown, Del Río y Buda).

Del Cretácico Superior afloran las formaciones Eagle Ford, Austin, Upson, San Miguel, Olmos y Escondido.

Representando al Cenozoico, aflora el Conglomerado Sabinas y del Cuaternario son los materiales aluviales y basaltos. También se encuentran intrusivos de edad terciaria.

4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica presente en la zona está integrada por rocas cuyas edades varían del Jurásico al Reciente, descritas a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente:

JURÁSICO SUPERIOR

Formación La Casita

Esta unidad se encuentra formada por lutitas físis, areniscas y margas de color negro, con ocasionales intercalaciones de areniscas amarillentas y calizas. En su parte basal puede incluir lutitas y yesos de color rosa.

Su espesor es muy variable, desde 100 m en secciones medidas hasta 1000 m en reportes de perforaciones de Pemex. Se le asigna una edad Portlandiano-Kimmeridgiano.

CRETÁCICO INFERIOR

Formación Taraises

Es una sección calcárea y calcáreo-arcillosa que se ha dividido en dos miembros, el inferior es un mudstone de color gris oscuro que intemperiza en gris amarillento, en estratos de 20 a 60 cm, con huellas de disolución y vetillas de calcita. El miembro superior consta de estratos delgados de calizas arcillosas de color negro, interestratificadas con lutitas calcáreas de color gris claro y calizas nodulares.

En la parte inferior incluye limolitas calcáreas de color gris, dispuestas en estratos medios a gruesos, intercaladas con lutitas nodulares. La parte superior de la formación es más arcillosa. Su edad pertenece al Hauteriviano-Barremiano.

Formación La Mula

Fue descrita por Imlay en 1940 y renombrada por Humphrey y Díaz en 1956. Aflora en la Sierra de Obayos y consiste de lutitas en la parte inferior, cubiertas por sedimentos calcáreos (mudstone) hacia la parte superior de la unidad. Presenta un espesor de 674 m

Formación La Virgen

Descrita por Humphrey en 1956 al referirse a una secuencia que 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. Hacia la parte superior, los yesos son más limpios y las capas de caliza menos arcillosas. Tiene una edad correspondiente al Barremiano. Se han medido espesores que varían de 335 a 740 m.

Formación Cupido

La Formación Cupido es una unidad geológica común en el norte de México que, junto con la Formación Aurora, constituyen los núcleos de las principales sierras. Se encuentran descansando sobre la Formación Taraises y bajo la Formación La Peña.

En su porción principal, consta de una caliza micrítica, compacta, de color gris crema, a veces arcillosa. Hacia la cima, las capas son de mayor espesor, de 2 a 3 m. También son frecuentes las estilolitas. La base de esta formación, consiste de calizas de textura fina, calcarenitas y calcilutitas dispuestas en estratos gruesos, con fósiles de miliólidos.

Arriba del cuerpo de calizas mencionado, se encuentran 80 m de lutitas interestratificadas con calizas criptocristalinas que cambia gradualmente a calizas de textura de calcarenita, con oolitas y fragmentos de conchas. La cima de esta sección corresponde a oolitas y calcarenitas con fragmentos de moluscos.

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. Su edad determinó por su contenido fósil corresponde al Barremiano Superior- Aptiano.

Formación La Peña

Propuesta por Imlay, 1937 y posteriormente fue descrita como formación por Humphey, 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 se compone de 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, presentando transiciones a limolita calcárea. Con el intemperismo, las coloraciones que adopta este miembro, son rojizas y parduzcas en ocasiones. Considerando los dos miembros, la Formación La Peña generalmente tiene un espesor de 50 m, aproximadamente. Corresponde a un horizonte índice tanto por su contenido de fósiles, como por encontrarse encajonada entre dos grandes cuerpos de calizas masivas correspondientes a las formaciones Aurora y Cupido.

Tiene una edad Aptiano Superior y como característica presenta abundantes amonitas principalmente de la familia *Dufrenoya*.

Formación Aurora

Está constituida por bancos de calizas de color gris claro, densas y compactas, dispuestas en estratos de 2 a 4 m, dolomitizadas 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. En el Cañón El Cedral, ubicado al poniente de Múzquiz, tiene un espesor de 340 m. Aflora en las sierras Obayos, del Tullillo y Santa Rosa.

De acuerdo al contenido de macrofauna 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 parte central-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. Consiste de lutitas calcáreas gris oscuro, que intemperizan a tonalidades verdosas, las cuales se observan interestratificadas con caliza de textura mudstone y wackestone nodulares, de color gris claro a gris oscuro y de estratificación delgada a media.

En su parte media presenta un cuerpo calcáreo constituido por caliza de textura mudstone de fragmentos biógenos. Una característica importante de esta unidad es su abundancia de fauna, principalmente de amonitas, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos. También presenta microorganismos básicamente plantónicos y abundantes concreciones de marcasita y fierro.

Su edad corresponde a la parte superior del Albiano Medio y gran parte del Albiano Tardío, tal como lo sugiere la presencia de amonitas de los géneros *Oxytropidoceras*, *Manuaniceras* y *Venezoliceras*.

Los sedimentos de esta formación se depositaron en un ambiente de mar abierto, de aguas relativamente profundas y de poca energía hidráulica.

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 del acuífero, casi siempre se observan rodeando las sierras anticlinales a manera de cinturón y en ocasiones en sitios cercanos a algunos intrusivos. Estas unidades 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, E. U. 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, hacia a cima de esta unidad.

El espesor de este miembro de 120 a 180m. Los 55 m superiores, 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. Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y cafés amarillentos. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris.

Contiene foraminíferos de la Familia Globigerinacea, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano. Debido a su carácter arcilloso, la Formación Del Río generalmente está cubierta con aluvión. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta y durante una etapa regional transgresiva. Su espesor en la región es muy variable, de 4 a 200 m.

Formación Buda

Fue descrita formalmente por Humphrey (1956), para designar a una caliza de textura “mudstone” de estratos medianos a gruesos. En su porción inferior contiene de 4 a 7 m de una caliza nodular, margosa de textura “wackestone” y consistencia suave. Hacia su superior se encuentra 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. La Formación Buda en el norte de Coahuila, se encuentra descansando concordantemente sobre la Formación Del Río y se le considera una edad correspondiente al Cenomaniano Temprano. De acuerdo a su litología y contenido faunístico, puede considerarse que esta unidad se depositó en una plataforma abierta relativamente profunda y de baja energía.

Formación Eagle Ford

Ferdinand Roemer (1852) la estudió inicialmente en el Estado de Texas y después 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, en ambos casos de manera concordante. Se le ha designado una edad de 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. Presenta un espesor aproximado de 200 m en el Cañón de Cedral.

CRETÁCICO SUPERIOR

Formación Austin

Definida por Shumrad (1860) como una secuencia calcáreo-arcillosa cuya localidad tipo se encuentra 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.

Dentro del acuífero de la Región Carbonífera, aflora en el Lomerío de Peyotes, al sur de la Sierra de El Burro y en el área de El Cedral. Hacia la base se encuentran calizas densas de estratificación delgada a mediana con intercalaciones de lutitas calcáreas de aspecto laminar y terroso. Hacia la cima esta unidad tiende a ser más arcillosa. Sobreyace de forma concordante a la Formación Eagle Ford.

Su edad 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.

Se le ha asignado una edad correspondiente al Coniaciano-Santoniano. Se puede correlacionar con la Formación San Felipe. 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 en las planicies, en sitios como el valle formado entre las sierras La Gloria, La Rata y Pájaros Azules.

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 gris claro a gris oscuro, y poco contenido de limolita calcárea, acentuándose hacia la parte superior de la unidad, donde contiene también algunos lentes de caliza. En general la unidad es masiva, por lo que es difícil observar planos de estratificación.

En El Cedral, Alvarez Jr. reporta un espesor de 130 m. Por su posición estratigráfica y foraminíferos identificables, se le asigna una edad Campaniano Inferior.

Formación San Miguel

Originalmente fue descrita por Dumble en 1892 en Texas. Esta formación ha sido ampliamente estudiada por su relación con los yacimientos de carbón que son explotados en la región. De esta formación se ha reportado un espesor de 277 m en promedio. Se encuentra subyaciendo concordantemente a la Formación Olmos y es muy fosilífera. Su edad es Campaniano Superior y se correlaciona 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, que es correlacionable con la parte superior de la Formación Méndez. Esta formación se encuentra expuesta en varios lugares de la zona en estudio, en excavaciones de los tajos a cielo abierto.

Formación Escondida

Corresponde a una serie de areniscas, limolitas y lutitas que sobreyacen 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. También se conoce con el nombre Formación Río Escondido.

CENOZOICO

Conglomerado Sabinas

Esta unidad fue definida en la Región Carbonífera de Sabinas, para referirse a depósitos conglomeráticos (Humphrey, 1956), 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 aproximadamente a 1 m, que están cementados por arcilla y carbonato de calcio. Su espesor estimado 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 Mioceno-Plioceno.

CUATERNARIO

Basaltos Esperanza

En la parte central de la Región Carbonífera, en especial al oriente de Barroterán, se encuentran afloramientos de lavas de basalto. Al sureste de Múzquiz y oeste de Sabinas, se encuentran también lavas de basaltos formando mesetas. Presentan color negro, en ocasiones de estructura vesicular y generalmente fracturados. Tienen una edad correspondiente al Cuaternario.

Aluvión Cuaternario

Cubriendo los valles se encuentran materiales granulares producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. Está conformado principalmente por arenas, gravas y cantos rodados de calizas. Se acumulan principalmente sobre los cauces de inundación de las principales corrientes de agua superficial, donde los materiales son transportados en épocas de lluvia por corrientes torrenciales

4.2 Geológica estructural

La influencia de la tectónica, la posición paleogeográfica dentro de la Península de Coahuila y la evolución sedimentológica fueron determinantes en la conformación de los diferentes patrones de sedimentación en la columna estratigráfica del área, depósitos ocurridos en un ambiente marino, dentro del cual existieron intervalos de tiempo en donde las condiciones resultaron favorables para la precipitación de grandes volúmenes de agua marina, formando rocas carbonatadas, que son los materiales predominantes; se considera que las litofacies con mayor contenido de detritos finos definen episodios de inestabilidad tectónica.

Los espesores de las diferentes formaciones reflejan la relación que existió entre la sedimentación y subsidencia del substrato.

El estilo de deformación de las rocas mesozoicas del área de estudio es reflejo de los esfuerzos tectónicos que actuaron en el área y de la ubicación de los elementos positivos jurásicos con respecto a los ambientes sedimentarios en que se depositaron estas rocas.

La influencia de estos elementos más el basculamiento hacia el Noreste de la Placa Americana, determinó que los plegamientos fueran sensiblemente simétricos, de amplitud moderada con respecto a su longitud, en sentido noroeste-sureste. A estas estructuras pertenecen los anticlinales Obayos, Santa Rosa y El Tulillo.

Las principales estructuras geológicas en el área del acuífero corresponden a pliegues anticlinales y sinclinales, con orientación NW-SE. El límite poniente del acuífero corresponde a las sierras anticlinales de Santa Rosa, Obayos-Hermanas y Pájaros Azules, que tienen forma alargada y sobre sus flancos afloran rocas calizas competentes del Cretácico Medio e Inferior.

En el norte y noreste del acuífero se encuentran parte de los anticlinales Sierra del Burro y Lomerío de Peyotes, que se caracterizan por presentar flancos con echados suaves. Hacia la porción central del acuífero, se encuentran sinclinales en gran parte sepultados, que corresponden a la cuenca carbonífera.

Están constituidos por lutitas y areniscas del Cretácico Superior, suaves y de fácil erosión. Estas estructuras han sido detectadas tanto por afloramientos en superficie, como por perforaciones exploratorias para prospección de carbón. Hacia las sierras que bordean el acuífero, se encuentran algunas fallas principalmente de tipo normal.

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, podemos afirmar que el acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los Ríos Salado, Nadadores, Sabinas, Álamos, San Juan y otros arroyos tributarios, así como en los conglomerados polimícticos de la Formación Sabinas.

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.

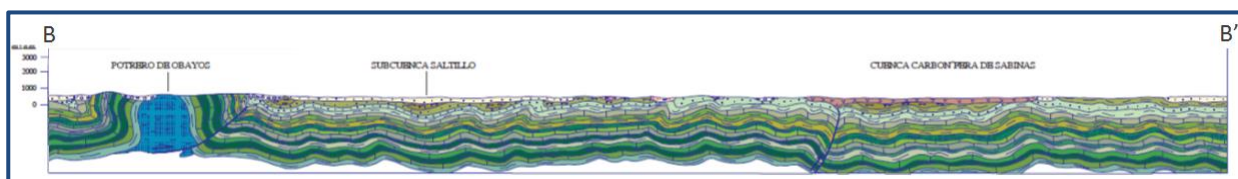
La parte inferior del acuífero se encuentra constituida por una secuencia calcáreo-arcillosa fracturada del Cretácico Superior que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

A mayor profundidad las calizas de las formaciones Aurora y Cupido del Cretácico Inferior constituyen sistemas acuíferos profundos que presentan permeabilidad

secundaria por fracturamiento y condiciones de semiconfinamiento y confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer el fracturamiento a profundidad (figura 3).

El basamento hidrológico regional del acuífero en calizas está representado por los yesos que presentan intercalaciones de calizas arcillosas, lutitas y limolitas de la Formación La Virgen.



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

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

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

La porción inferior se aloja en una secuencia calcáreo-arcillosa fracturada. Las barreras y fronteras al flujo subterráneo están constituidas por las mismas rocas calcáreas y arcillosas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento. A mayor profundidad las rocas calcáreas constituyen una unidad acuífera que puede presentar condiciones de confinamiento, debido a que está sobreyacida por rocas arcillosas como lutitas y limolitas.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2011, se realizaron 5 pruebas de bombeo de corta duración, a caudal constante, en etapa de abatimiento y recuperación; además se recopiló información de varias pruebas realizadas en trabajos previos.

Los resultados de su interpretación indican que los valores medios de transmisividad son muy variables, ya que varían de $0.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ a $175.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Los valores de conductividad hidráulica, considerando la composición litológica de los depósitos que rellenan el Valle del Río Sabinas, varía en orden de magnitud entre 10^{-6} 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 información de estudios anteriores y con la información recabada como parte de las actividades del estudio realizado en el año 2011, correspondiente al periodo 1977-2011.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2011, se puede observar que la zona se caracteriza por presentar una profundidad al nivel estático somera, que varía de 5 a 30 metros.

En la mayor parte donde existe información piezométrica predominan profundidades entre 10 y 20 m y sólo en algunos lugares aislados la profundidad alcanza 30 ms.

En algunas localidades de la zona de Barroterán, la profundidad del nivel estático se encuentra a menos de 5 m (figura 4).

En algunos pozos perforados en calizas, la profundidad al nivel del agua subterránea es considerablemente mayor.

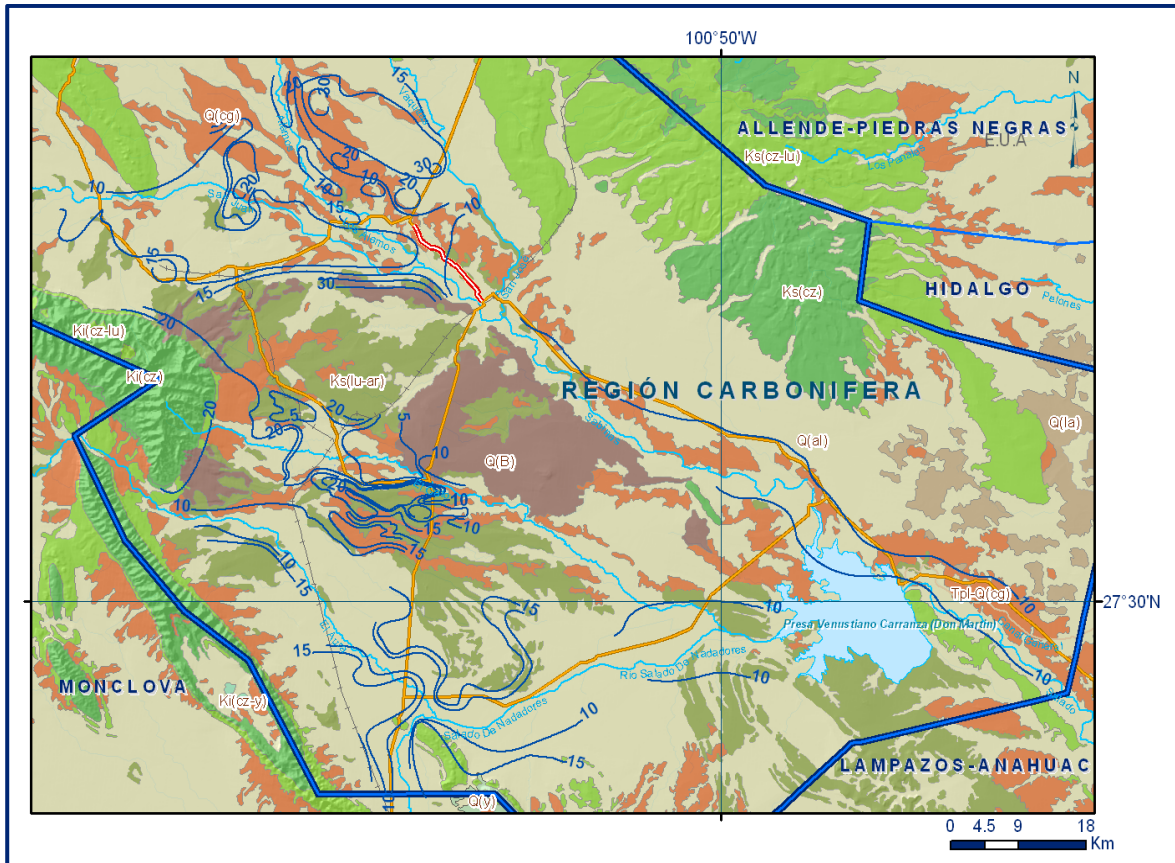


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2011)

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo a la configuración de elevación del nivel estático para el año 2011, se puede observar que las elevaciones varían de 600 a 250 msnm. En las estribaciones de la Sierra de Santa Rosa, el nivel se encuentra a alrededor de 500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y disminuye hacia el oriente. A la altura de Múzquiz, el flujo es similar a la dirección de circulación de los ríos Álamos y San Juan, desciende de la cota 490 msnm al pie de la Sierra, hasta 340 msnm a la altura de Sabinas.

Frente a las sierras Obayos-Hermanas y sur de Santa Rosa, el agua subterránea fluye de la cota 500 msnm (a la altura de Las Esperanzas), a 420 msnm en Barroterán, y continúa descendiendo hasta 360 msnm en El Sauz y posteriormente hasta 300 msnm en Progreso. La dirección predominante de flujo subterráneo es del noroeste hacia el sureste, con alimentaciones procedentes de los flancos serranos que delimitan el acuífero, hasta descargar aguas abajo, hacia la Presa Lázaro Cárdenas (figura 5).

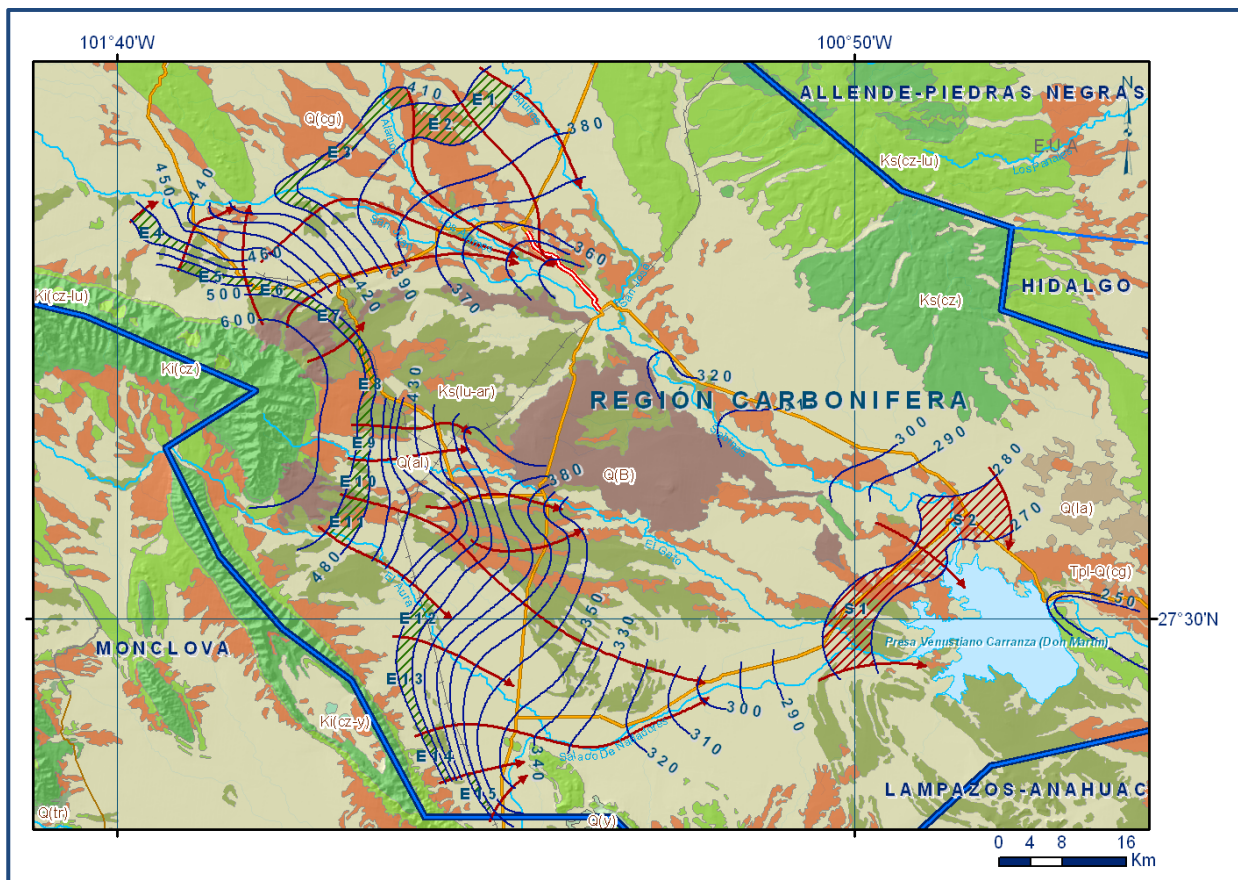


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2011)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático durante el periodo 1996-2007, se observa que, de manera general, los niveles de agua se han mantenido en su posición. Además, la configuración de la elevación del nivel estático no muestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de la extracción.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2011, se tomaron muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación para su análisis fisicoquímico correspondiente, así como determinaciones *in situ* de parámetros fisicoquímicos.

Las determinaciones incluyeron iones principales, conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos (STD), clasificación de las familias de agua, pH, dureza total y nitratos.

Con respecto a la conductividad eléctrica, se observa que los valores varían de menos de 275 a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los valores más bajos, de 300 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se presentan en los valles de los ríos Álamos y Sabinas, así como al pie de la Sierra de Santa Rosa. Valores menores a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se registran en la porción poniente del acuífero, en la región comprendida entre las localidades Múzquiz, Nueva Rosita, Sabinas, Las Esperanzas y San José de Aura. En contraste, en la porción oriental del acuífero, hacia Juárez-Progreso y los alrededores de la Presa Venustiano Carranza, el agua tiene mayor contenido salino, con valores de conductividad eléctrica de entre 2000 y 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que equivalen a salinidades de entre 1600 y 3200 mg/l.

Con respecto a la concentración de sólidos totales disueltos (STD), en la zona de Barroterán y en la porción oriente del acuífero (Progreso-Juárez), el agua presenta concentraciones salinas por arriba del límite permisible de 1000 mg/l que establece 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..

Hacia las poblaciones Múzquiz, San Juan de Sabinas, Sabinas, Agujita, Cloete, Palau y Nueva Rosita, entre otras, el agua es presentan bajo contenido de sólidos totales disueltos, entre 275 y 620 mg/l; en general ninguno de los parámetros analizados se encuentra por arriba de los límites permitidos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, únicamente la concentración de sulfatos supera el límite indicado en dicha norma, ya que en algunos aprovechamientos los análisis indican una concentraciones superiores a 450 mg/l, debido probablemente a las actividades agrícolas y a la presencia de minerales evaporíticos.

Con respecto a las familias de agua, las concentraciones de elementos mayores por ion dominante indican que en los alrededores de la Sierra de Santa Rosa el agua es del tipo cálcico-bicarbonatada, debido a que ha tenido contacto con las rocas calizas de las sierras y fragmentos que constituyen los rellenos de los valles.

Hacia los valles del centro de la Región Carbonífera, el agua subterránea se encuentra en el acuitardo de la Formación Olmos, con presencia de yesos, por lo que el agua pertenece a la familia cálcico-sulfatada.

En la zona oriental y sur del acuífero, el agua subterránea presenta composición variada, ya que además de los componentes anteriores, se encuentran sales evaporíticas con cloruros y sodio.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTO E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en 2011 y datos recopilados de trabajos anteriores, se registró la existencia de 612 aprovechamientos, de los cuales 159 se censaron durante el trabajo realizado en el 2011 y 453 en estudios previos; la gran mayoría de ellos corresponden a papalotes, pozos abandonados y otros caracterizados por bajos caudales de extracción. De los 612 aprovechamientos, 496 corresponden a pozos, 99 norias, 5 manantiales y 12 tiros mineros o galerías.

El conjunto de extracción se ha estimado en **45.0 hm³/año**, de los cuales 20.7 hm³ anuales (46.0 %) se destinan al uso agrícola, 14.4 hm³ (32.0%) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, 9.4 hm³ (20.9 %) para uso industrial y 0.5 hm³ (1.1 %) al uso pecuario. Adicionalmente, a través de los manantiales se descarga un caudal de 180 lps, que equivalen a un volumen anual de **5.7 hm³ anuales**, destinados para usos agrícola y pecuario.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el año 2011, en una superficie de **5,500 km²**, 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 la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1 Entradas

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

De manera inducida, 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 las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (R_i).

Para este caso, debido a que los volúmenes utilizados en riego son incipientes, no existen poblaciones urbanas importantes y a la baja permeabilidad de los estratos someros del subsuelo, se considera para fines del balance de aguas subterráneas que no existe recarga inducida, por lo que $R_i = 0$.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

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

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

Donde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

B = Bombeo;

D_{fb} = Descarga por flujo base de los ríos;

S_h = Salidas por flujo subterráneo horizontal;

D_m = Descarga de manantiales;

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

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

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

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

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración a lo largo 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 2011 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

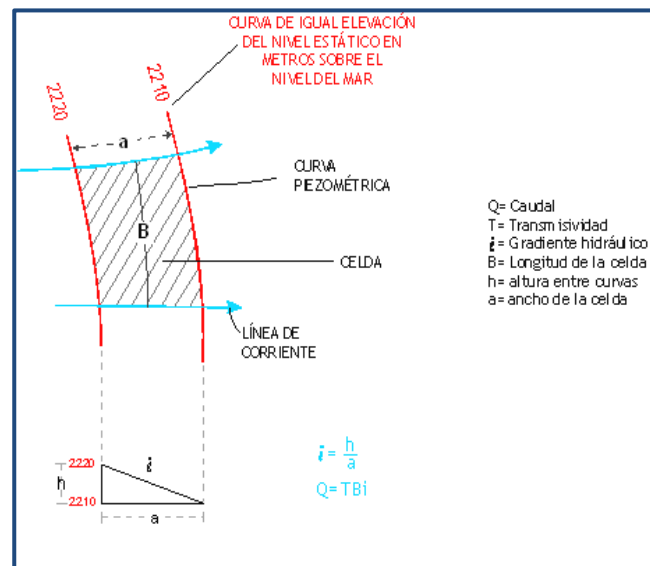
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



Los resultados de los cálculos realizados se muestran en la tabla 2.

El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **9.7 hm³/año**.

Los valores de transmisividad utilizados para la estimación de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo realizadas en el estudio de 2011 y de estudios previos, adaptados al espesor saturado de las zonas en las que se ubican las celdas de flujo.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2011).

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	5541	4227	10	0.0024	0.0005	0.0066	0.2
E2	6556	4884	10	0.0020	0.0005	0.0067	0.2
E3	18746	1398	10	0.0072	0.0004	0.0536	1.7
E4	5826	2391	10	0.0042	0.0004	0.0097	0.3
E5	7793	1167	10	0.0086	0.0004	0.0267	0.8
E6	5696	1859	20	0.0108	0.0004	0.0245	0.8
E7	6708	1767	20	0.0113	0.0003	0.0228	0.7
E8	10635	2077	20	0.0096	0.0003	0.0307	1.0
E9	4482	1620	20	0.0123	0.0003	0.0166	0.5
E10	4927	2240	20	0.0089	0.0004	0.0176	0.6
E11	5653	2952	20	0.0068	0.0004	0.0153	0.5
E12	5359	2049	10	0.0049	0.0003	0.0078	0.2
E13	12184	1552	10	0.0064	0.0003	0.0236	0.7
E14	6562	844	10	0.0118	0.0003	0.0233	0.7
E15	5822	806	10	0.0124	0.0003	0.0217	0.7
TOTAL							9.6

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por salidas subterráneas horizontales (Sh) y por el drenado de los ríos (Dfb). No existen salidas por evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas se evalúan de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático (figura 5). El cálculo se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2011).

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	16673	4352	10	0.0023	0.0010	0.0383	1.2
S2	10610	4738	10	0.0021	0.0010	0.0224	0.7
TOTAL							1.9

El volumen total estimado de salidas por flujo subterráneo asciende a **1.9 hm³/año**.

7.2.2 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **45.0 hm³ anuales**.

7.2.3 Descarga por flujo base de los ríos (Dfb)

Los datos de escurrimiento para ríos se obtuvieron mediante aforos puntuales, durante el estiaje. De acuerdo con esto, se obtuvo un caudal base de 698 lps en el Río Sabinas (22.0 hm³ anuales) y 300 lps (9.5 hm³ anuales) para el Río Nadadores. Por lo tanto, el volumen del acuífero drenado por los ríos es de **31.5 hm³/año**.

7.2.4 Descarga por manantiales (Dm)

Del aforo de los manantiales ubicados dentro del territorio del acuífero, se estima que su descarga es del orden de 180 lps, es decir **5.7 hm³/año**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, los niveles de agua subterránea no han sufrido variaciones significativas en su posición en el periodo 1977-2011, los abatimientos anuales son sólo del orden de algunos centímetros y el comportamiento de las líneas de flujo no se ha modificado en el periodo de estudio.

Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento. Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, **$\Delta V(S) = 0$** .

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:

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

$$R_v = 45.0 + 31.5 + 1.9 + 5.7 - 9.7 + 0.0$$

$$R_v = 74.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 74.4 + 9.7 \\ R &= 84.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

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

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es de **84.1 hm³/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 **39.1 hm³ anuales**, de los cuales 5.7 hm³ corresponden a la descarga de los manantiales, 31.5 Mm³/año al flujo base de los Sabinas y Nadadores, y 1.9 Mm³/año a las salidas por flujo subterráneo horizontal. **DNC = 39.1 hm³ anuales.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **72,272,297 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 84.1 - 39.1 - 72.272297 \\ \text{DMA} &= -27.272297 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **27,272,297 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Altos Hornos de México S.A de C.V (AHMSA), 2011, Actualización del Estudio Geohidrológico del Acuífero (0512) región Carbonífera, Coahuila. Elaborado por Lesser y Asociados, S.A de C.V.

Minerales Monclova, S. A. de C.V. (MIMOSA), 1997. Estudio Geohidrológico para el Abastecimiento de Agua a la Central Carboeléctrica de Palau, Coahuila. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. de C. V.