

***Actualización de la disponibilidad media anual
de agua en el acuífero Monclova (0507), Estado
de Coahuila***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015*

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE COAHUILA							
0507	MONCLOVA	116.4	20.4	112.490919	96.0	0.000000	-16.490919

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y

Ordenamiento de Acuíferos

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN
EL ACUÍFERO MONCLOVA (0507), ESTADO DE
COAHUILA***

México, D.F., Octubre de 2013

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFIA	6
3.1. Provincia fisiográfica.....	6
3.2. Clima	6
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
4. GEOLOGIA.....	8
4.1. Estratigrafía.....	8
4.2. Geología estructural	15
4.3. Geología del subsuelo	15
5. HIDROGEOLOGIA.....	16
5.1. Tipo de Acuífero	16
5.2. Parámetros hidráulicos	17
5.3. Piezometría	17
5.4. Comportamiento hidráulico	17
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2. Elevación del nivel estático	17
5.4.3. Evolución del nivel estático	19
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	20
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS	21
7.1. Entradas.....	22
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	23
7.2. Salidas.....	24
7.2.1. Bombeo (B).....	24
7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm)	24
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	25
8. DISPONIBILIDAD.....	25
8.1. Recarga total media anual (Rt)	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)	26
8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS).....	26
8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS).....	26
9. BIBLIOGRAFIA	27

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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA).

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 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción centro-oriental del Estado de Coahuila, entre los paralelos 26°30' y 28°35' de latitud norte y los meridianos 100°30' y 102°35' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 13,525 km².

Limita al norte y este con el acuífero Región Carbonífera, al sur con los acuíferos Castaños y Cuatrociénegas, al oeste con Cuatrociénegas-Ocampo, al noroeste con 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).

Geopolíticamente el acuífero se localiza en su totalidad en los municipios San Buenaventura, Nadadores, Frontera, Abasolo, Monclova y Candela y unas porciones pequeñas de los municipios Ocampo, Lamadrid, Sacramento, Castaños y Escobedo.

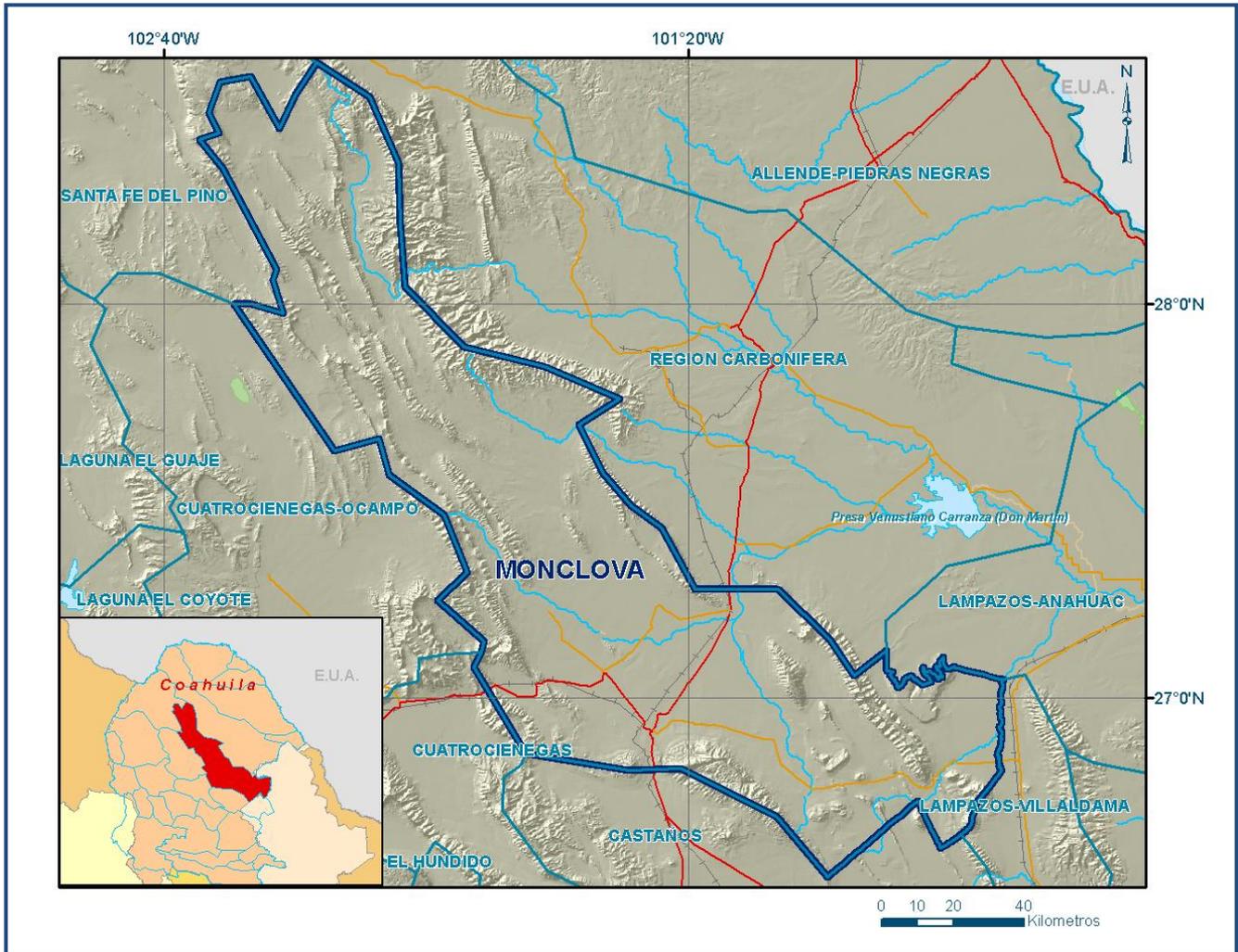


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 0507 MONCLOVA							
VÉRTICE	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 LÍMITE ESTATAL
31	100	32	1.8	27	2	43.4	DEL 31 AL 32 POR EL LÍMITE ESTATAL
32	100	38	31.0	26	39	5.4	DEL 32 AL 33 POR EL LÍMITE 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	

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 Coahuila.

En su territorio completo no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea. Sin embargo, se encuentra sujeto a las disposiciones del “*ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento de las aguas nacionales del subsuelo en los siete acuíferos que se indican*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero, se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, y el incremento de volúmenes autorizados o registrados, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2013, el municipio Monclova se clasifica como zona de disponibilidad 4, los municipios: Candela, Frontera, Sacramento, Abasolo, Nadadores y San Buenaventura como zona de disponibilidad 5 y los municipios: Ocampo, Escobedo, Lamadrid y Castaños como zona de disponibilidad 6.

El principal usuario 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 TECNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE MONCLOVA, COAH. Elaborado por Ingeniería Integral (ININSA, S.A.) para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1981. Los objetivos de este estudio fueron: caracterizar el funcionamiento del sistema acuífero; realizar un censo de aprovechamiento en el que se identificaron 342 pozos profundos, 350 norias y 17 manantiales, así como determinar las componentes de recarga y elaborar el balance de aguas subterránea.

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DE HIDROGEOLOGÍA CÁRSTICA EN EL ACUÍFERO DE MONCLOVA, ESTADO DE COAHUILA. Elaborado por Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente S.C. (SIIMA) para la Comisión Nacional del Agua en 2002. A partir de este estudio se determinó que las estructuras geológicas que se encuentran en la región de

Monclova son diferentes a las que conforman la Sierra Madre Oriental y mediante los censos que se llevaron a cabo en el cual se visitaron 133 obras (101 corresponden a pozos, 23 a norias y 9 a manantiales), se determinó que la profundidad de las obras está asociada a la topografía del lugar y a la posición de las rocas de las que se desea extraer el agua.

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.

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

3. FISIOGRAFIA

3.1. Provincia fisiográfica

El área de estudio se localiza en la Provincia Fisiográfica Cuencas y Sierras (E. Raisz, 1964), que se caracteriza por estar formada por estrechas y alargadas sierras separadas por amplias planicies.

Las rocas que afloran en el área de estudio y en la cuenca, abarcan edades del Jurásico Superior al Cretácico Superior e incluyen secuencias sedimentarias marinos y palustres-marinos, litología establecida en concordancia con la tectónica sedimentaria de esa edad, condicionada por la profundidad de los mares, la cercanía a la costa y el tipo de rocas de las fuentes que aportaron sedimentos.

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 un tipo 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 del 18%.

El clima semidesértico está asociado directamente a la existencia del desierto chihuahuense, cuyo origen se debe básicamente al descenso de vientos contra alisios y la barrera orográfica que representa la Sierra Madre Oriental. Este desierto se extiende hacia el sur a través de la parte este del estado de Chihuahua y prácticamente todo el estado de Coahuila, solo interrumpido por algunas elevaciones. Es muy extremoso, frío en invierno y caliente 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 y las más altas en junio y julio. La precipitación promedio anual varía de 300 mm, que se registra en el valle, a 400 mm en las sierras que delimitan el acuífero. Para la determinación de las variables climatológicas se utilizaron los registros de las estaciones Castaños, Monclova, Buenaventura, Eutimias, Sacramento, La Madrid y Candela, en distintos periodos que comprenden el rango 1967-2011. Con base en estos datos, se obtuvieron los valores promedio anual de **19 °C** de temperatura, **325** mm de lluvia y **2,350** mm de evaporación potencial

3.3. Hidrografía

El acuífero Monclova se localiza en la Región Hidrológica 24 denominada Río Bravo-Conchos, cuenca Presa Falcón-Río Salado (24D), cuya corriente principal es el río Salado. Este río nace en el estado de Coahuila en la confluencia de los arroyos Aura, Seco y Pájaros Azules, pasa por la Presa Venustiano Carranza (Don Martín) con una dirección de norte-sureste atravesando las llanuras nororientales del estado para luego seguir 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

La geomorfología del área de estudio está caracterizada por los elementos geomorfológicos positivos del periodo Triásico-Jurásico y de las depresiones o cuencas del Cretácico. El relieve de la superficie del terreno permite diferenciar cuatro unidades geomorfológicas: (1) Sierras calcáreas; (2) sierras de intrusivos; (3) lomeríos-mesetas y; (4) valles y pies de monte. La delineación de tales elementos determina la orientación y la forma de las sierras, de los valles, así como las formas positivas menores (lomeríos).

Las sierras calcáreas La Encantada, Palomino, Padilla, Nadadores, Sacramento, Del Mercado y La Gloria, San Rosa, Obayos-Hermanas y Pájaros Azules, corresponden a estructuras anticlinales que muestran perfiles aserrados y altitudes mayores a 1000 msnm, doblemente buzantes y abiertos 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, 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 corrientes superficiales que disectan las sierras son de corta longitud, de 5 a 10 km, del tipo paralelo, aunque las de mayor longitud pueden ser del tipo enrejado. Algunos cauces profundos presentan la sección en V, característica de una etapa de juventud. Las sierras, El Tulillo y Santa Gertrudis, muestran altitudes de hasta 650 msnm, siendo también estructuras anticlinales y doblemente buzantes, abierta en la Formación Aurora en la primera de ellas y en el Grupo Washita la segunda; muestran perfiles suaves con echados menores a 20°, definiendo en planta formas cóncavas.

4. GEOLOGIA

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

4.1. Estratigrafía

En la región afloran rocas calcáreas principalmente del Cretácico y en menor proporción del Jurásico, algunos intrusivos del Terciario y materiales aluviales del Terciario y Cuaternario. El Jurásico está representado por la formación 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 Terciario, aflora el Conglomerado Sabinas y al Cuaternario los materiales aluviales. También se encuentran intrusivos de edad terciaria.

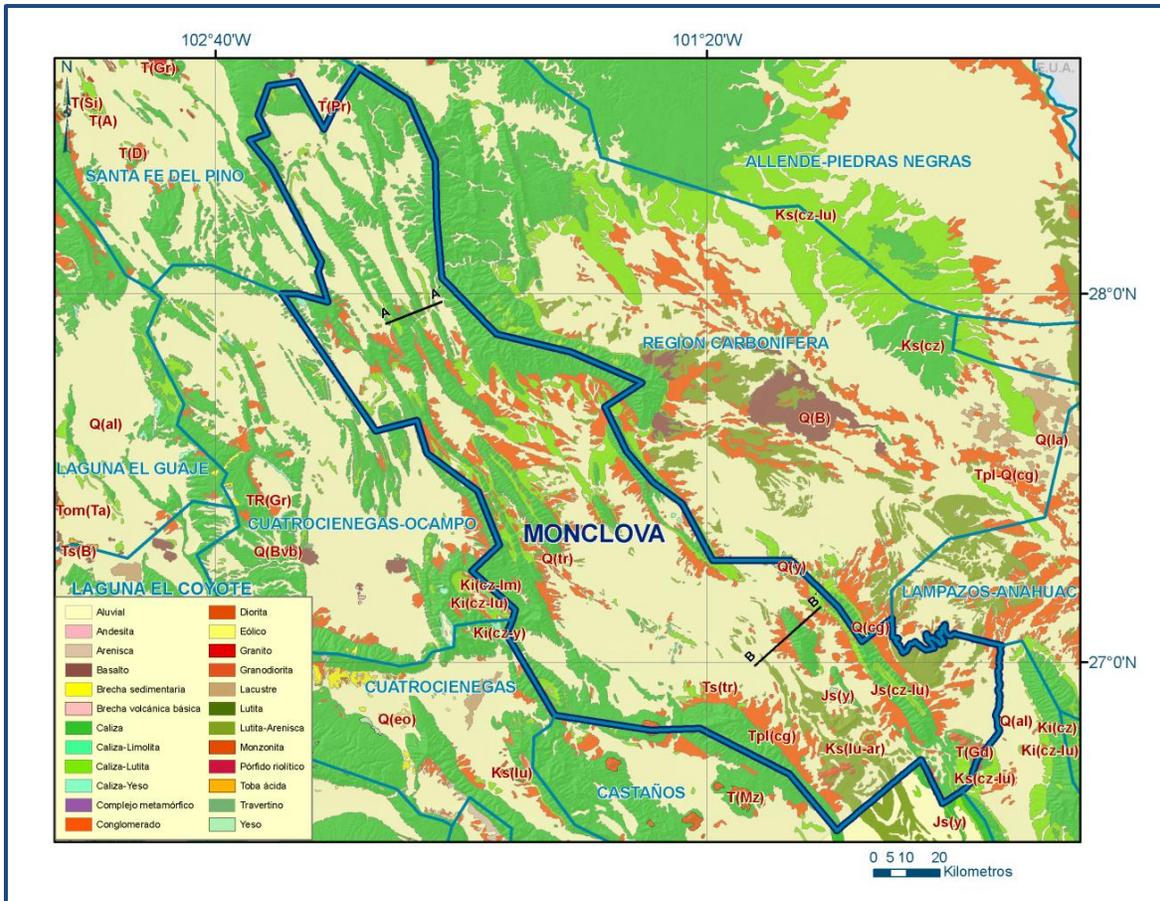


Figura 2. Geología general del acuífero

Jurásico Superior

La secuencia Mesozoica más antigua del Golfo de Sabinas está representada por las Formaciones Olvido y Grupo La Casita, la primera está constituida por intercalaciones de calizas, yesos, dolomías y lutitas, que afloran en el Potrero de Obayos. Esta Formación descansa sobre el conglomerado basal de la zona y subyace a la Formación La Casita. En cuanto al Grupo La Casita, incluye areniscas, lutitas y calizas, algunos yesos y poco carbón. En la zona de estudio, sólo aflora en el Potrero de Obayos. Consta principalmente de lutitas con intercalaciones de arenisca y calizas arcillosas y arenosas.

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. 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 y aflorando 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, dentro de la zona de estudio aflora únicamente en el Potrero de Obayos

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 Agua Chiquita. Su contenido fósil de amonitas indica que su edad corresponde al Hauteriviano Inferior.

Formación Padilla

Descrita originalmente por Imlay (1940) para referirse a una secuencia de calizas de plataforma, bioclásticas, con ocasionales bancos de calizas de rudistas, en parte dolomitizadas y en parte arcillosas. Su localidad tipo se encuentra en el potrero de 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 una gran cantidad de macrofósiles que incluyen gasterópodos y amonitas, que indican una edad correspondiente al Hauteriviano Tardío. Estudios recientes indican que está formada por dos miembros: El Inferior: denominado también Agua Chiquita, cuya localidad tipo está en el potrero del mismo nombre y está formada de calizas de color gris oscuro de estratificación gruesa; y Miembro Superior, denominado también Obayos está 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, en estratos de espesor que varía de delgado a medio, aflora en las sierra Obayos y Santa Rosa.

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. Aflora en el núcleo de la Sierra de Pájaros Azules. Tiene una edad Barremiano.

Formación Cupido

Fue definida por Imlay en 1937, como una caliza gris en estratos medios y gruesos que se encuentra expuesta 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 las sierras 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, 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 abundantes nódulos de pedernal, 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 Tulillo 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. Litológicamente, consiste de la base a la cima, de una alternancia de lutitas y calizas arcillosas, ambas carbonosas y de color negro, de estratificación delgada, con concreciones de hierro. 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 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*. Se encuentra distribuida en todas las sierras del área, en un quiebre arcilloso característico entre las formaciones Aurora y Georgetown.

Grupo Washita

Agrupación 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. En la zona de Castaños, aflora principalmente en las regiones norte y este; en la Sierra de Sacramento (alrededor del Cerro del Mercado), en la Sierra La Gloria y en la porción sur de la Sierra 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, 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. Sobre yaciendo 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 producto del intemperismo. La lutita se presenta comúnmente de color verde y con fósiles como *Exogiras* y equinoideos. Su espesor es de 30 a 70 m, aunque varía radicalmente en afloramientos del norte de Coahuila y Sur de Texas. Se considera que su depósito se efectuó durante el Cenomaniano.

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.

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. El espesor que presenta es de 200 m. 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 ésta 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. Se distribuye ampliamente en los alrededores de las sierras Santa Rosa, Obayos, del Tulillo, La Gavia y Santa Gertrudis.

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 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.

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. Terciario.

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

Está representado por depósitos aluviales y fluviales (limos, gravas y arenas) producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. En las zonas cercanas a las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos intermitentes que los acarrearán en épocas de lluvia por corrientes torrenciales.

4.2. Geología 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.

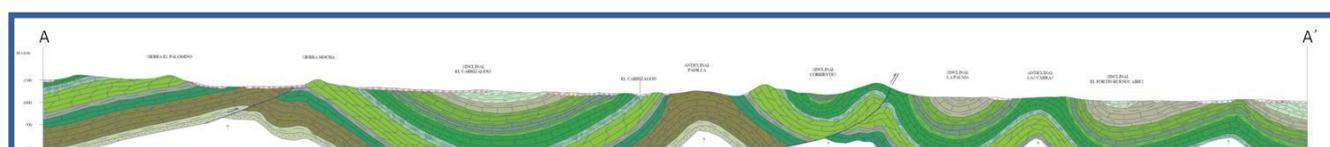
4.3. Geología del subsuelo

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 los

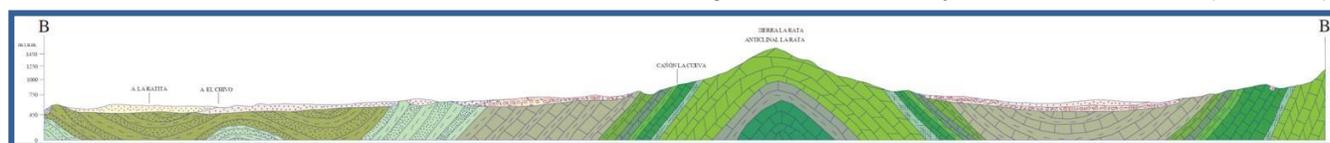
sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte de granulometría variada que constituyen el lecho y la llanura de inundación de ríos y arroyos, así como en los conglomerados polimícticos de la Formación Sabinas que rellenan los extensos valles. La parte inferior del acuífero se encuentra constituida por la 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 lo yesos que presentan intercalaciones de calizas arcillosas, lutitas y limolitas de la Formación La Virgen.



Fuente: Carta Geológica-Minera "El Carrizalejo" G13-B19" Esc. 1:50.000 (SGM, 2006)



Fuente: Carta Geológica-Minera "Primero de Mayo" G14-A43" Esc. 1:50.000 (SGM, 2005)

Figura 3. Secciones geológicas en la zona del acuífero

5. HIDROGEOLOGIA

5.1. Tipo de Acuífero

La información hidrogeológica, geofísica y piezométrica permite identificar que el acuífero es de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales y de pie de monte, de granulometría variada, así como conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar varios cientos de metros hacia el centro de los valles. La parte inferior del acuífero se encuentra constituida por la 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 2007, se ejecutaron 5 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, con duración de 6 a 8 horas. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de la transmisividad varían de 5.4×10^{-4} a $35.1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Los valores de conductividad hidráulica varían de 4.5×10^{-6} a $2.9 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. El coeficiente de almacenamiento promedio obtenido varía de **0.1 a 0.05**

5.3. Piezometría

Con respecto a la información piezométrica se dispone de información para los años 2002 y 2007, periodo que se utilizó para el planteamiento del balance de aguas subterráneas.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático 2007, muestra que los valores varían de 10 m , en las cercanías de los poblados Ejido Primero de Mayo y Congregación Rodríguez, ubicados en la porción central del acuífero, hasta los 70 m en las zonas de los poblados Lamadrid y Estación Polka, ubicados al suroeste. En la porción sur del valle los valores fluctúan entre los 15 y 30 m (figura 4).

5.4.2. Elevación del nivel estático

De la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se observa que los valores varían de 370 a 660 msnm. Incrementándose gradualmente por efecto de la topografía, desde la porción central del valle hacia las estribaciones de la sierras que delimitan el acuífero. Las mayores elevaciones se ubican al sur, sureste y suroeste con valores de 600, 640 y 660 msnm, desde donde disminuyen gradualmente hacia la zona norte.

De esta manera, se establece que la dirección preferencial del flujo subterráneo es de sur a norte, con importantes aportaciones desde los flancos oeste a este, entre Nadadores y el Ejido 8 de Enero, con una componente que ingresa en la parte sureste, en la localidad de San Vicente. Existe una sola salida de flujo subterráneo en la porción noreste, a la altura del Ejido Primero de Mayo, entre las sierras Hermanas y La Gloria.

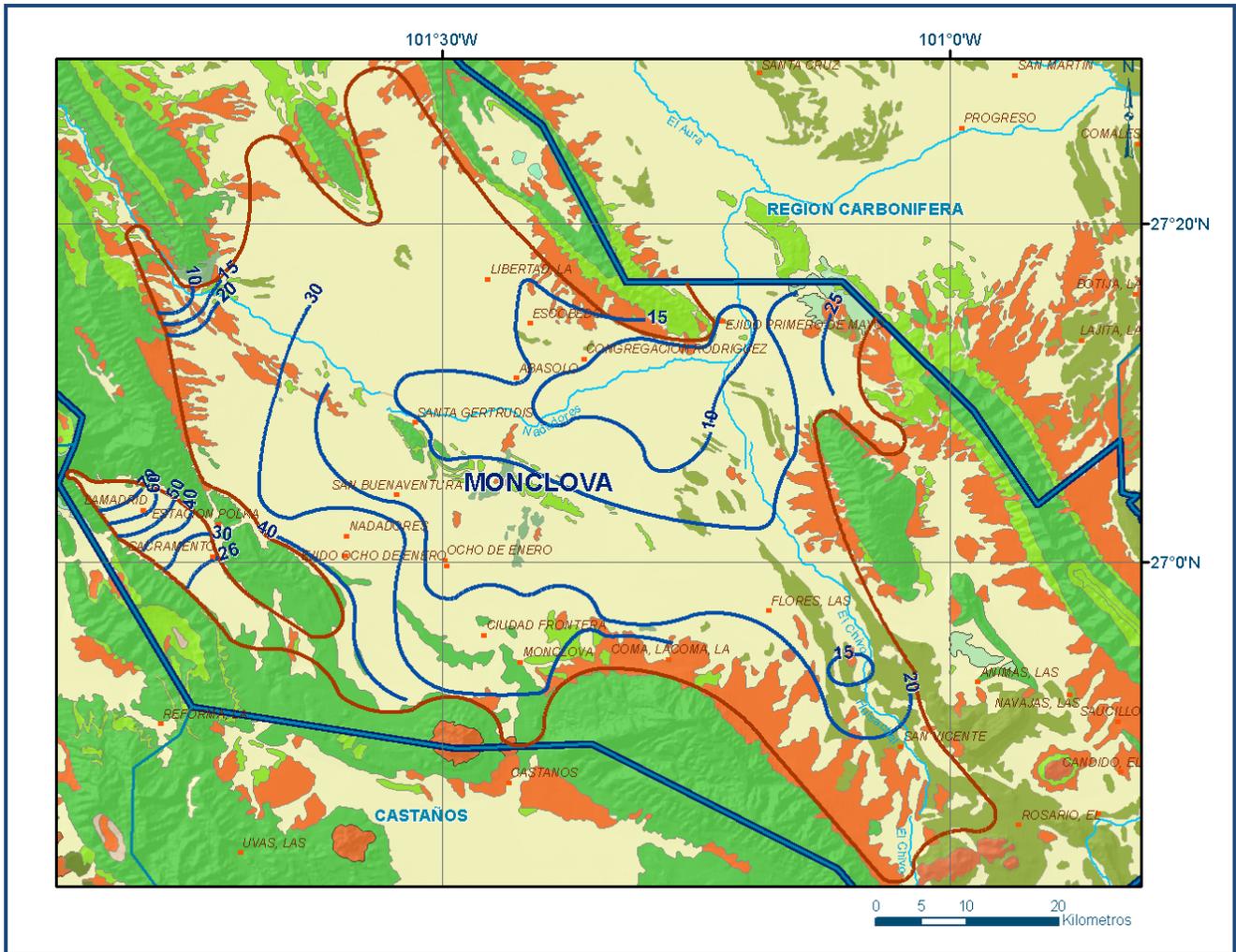


Figura 4. Profundidad del nivel estático en m (2007)

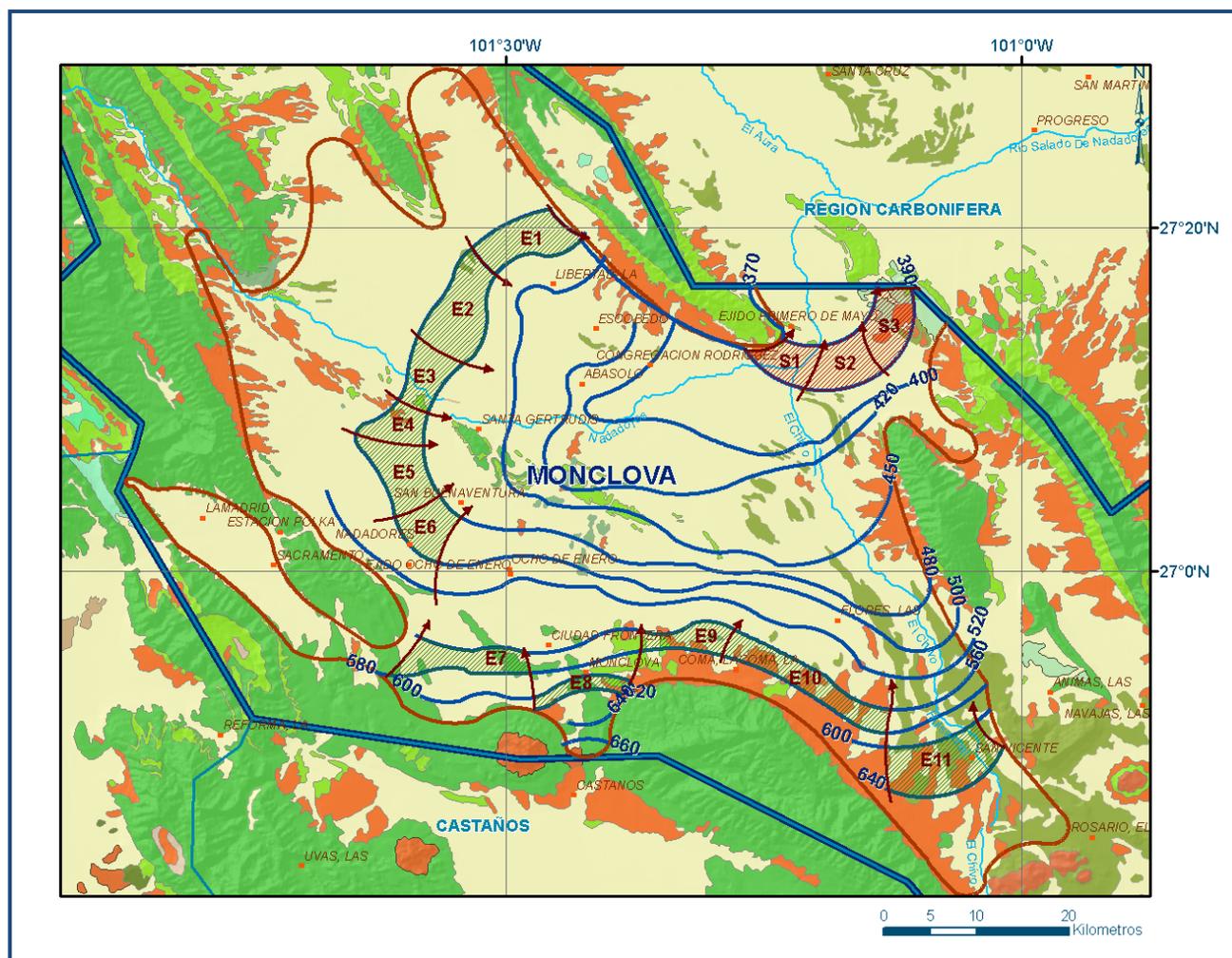


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

5.4.3. Evolución del nivel estático

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2002-2007, se observa que se registran recuperaciones de hasta 0.7 m en el municipio Abasolo y de 0.3 m en la porción central del valle; es decir de 0.1 a 0.15 m anuales. Los abatimientos se registran entre los poblados San Buenaventura, Nadadores, Villa de Nadadores y Ejido Primero de Mayo (figura6), varían de 0.2 a 0.8 m, con un promedio de 0.1 m anuales.

Considerando los valores de recuperación y abatimiento, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea y en el esquema de flujo, no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

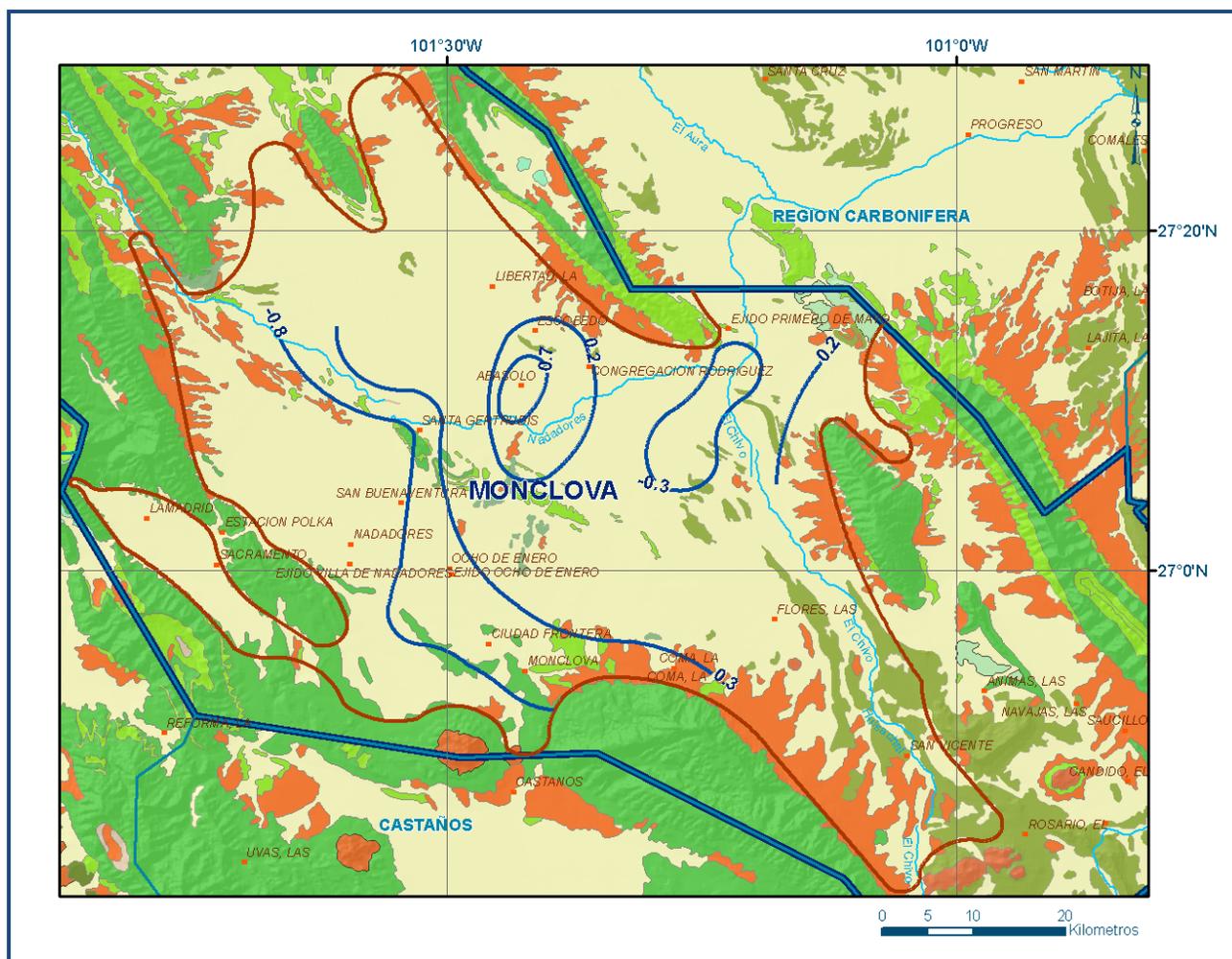


Figura 6. Evolución del nivel estático (2002-2007)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte del estudio realizado en 2007, para la caracterización hidrogeoquímica y de calidad del agua subterránea se tomaron 8 muestras de agua en diversos aprovechamientos representativos de las principales zonas en explotación, así como determinaciones *in situ* de parámetros físicoquímicos en 105 pozos. Las determinaciones incluyeron iones principales, nitratos, Temperatura (°C), Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Potencial de Hidrogeno (pH), Eh, Dureza Total y Sólidos Totales Disueltos (mg/l).

Con respecto a la conductividad eléctrica se observan valores que varían de 1000 a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los valores menores a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se registran en los pozos localizados hacia las zonas de recarga ubicadas en los extremos sur, oeste, este; en tanto que los mayores se presentan en la porción central del valle. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 600 a 2500 ppm, algunos de ellos sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido

la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. En algunos pozos los valores de concentración de nitratos superan el límite máximo permisible que establece dicha norma.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, predomina la familia sulfatada-cálcica. La presencia de sulfatos se asocia a las evaporitas en los rellenos del valle.

De acuerdo con la relación de adsorción de sodio (RAS), del total de muestras 5 se clasifican como S_1-C_3 , que indica bajo contenido de sodio intercambiable y alta salinidad; este tipo de agua puede ser utilizado en suelos que requieren de manejo especial para controlar la salinidad y cultivos tolerantes a ella. Las otras 3 muestras se clasifican como S_1-C_4 es decir bajo en sodio y muy alta salinidad, que no es adecuada para la agricultura

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2007, se registraron un total de 365 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 341 son pozos, 11 norias y 13 manantiales; del total de aprovechamientos, 268 se encuentran activos y 97 inactivos.

El volumen de extracción estimado es de **96.0 hm³ anuales**, (95.8 mediante pozos y 0.2 de las norias), de los cuales 53.5 hm³ (55.7%) se destinan al abastecimiento de uso público-urbano, 24.6 (25.6%) al uso agrícola, 15.4 más (16.1%) para uso industrial, 2.1 (2.2%) al uso doméstico y 0.4 hm³ (0.4%) a servicios. Adicionalmente, a través de manantiales se descarga un volumen anual de 13.9 hm³, destinados casi en su totalidad al uso agrícola (13.1 hm³ = 94.2%) y en menor proporción a los usos de servicios y público-urbano (0.8 hm³ = 5.8%)

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2002-2007, en una superficie 3,341 km² en la que están dispersos los aprovechamientos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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 de una unidad hidrogeológica:

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

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 (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h), así como de la recarga que se origina en las sierras calcáreas que es independientes del valle (R_c).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y de las fugas en los sistemas de distribución del agua potable y la red de alcantarillado, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i).

7.1.1. Recarga vertical (R_v)

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

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

Donde:

R_v : Recarga vertical

E_h : Entradas por flujo subterráneo horizontal

R_c : Recarga en calizas

R_i : Recarga inducida

D_m : Descarga a través de manantiales

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo subterráneo horizontal

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 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. 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 2007 (figura 5), mediante la siguiente expresión

$$Q = T * B * i$$

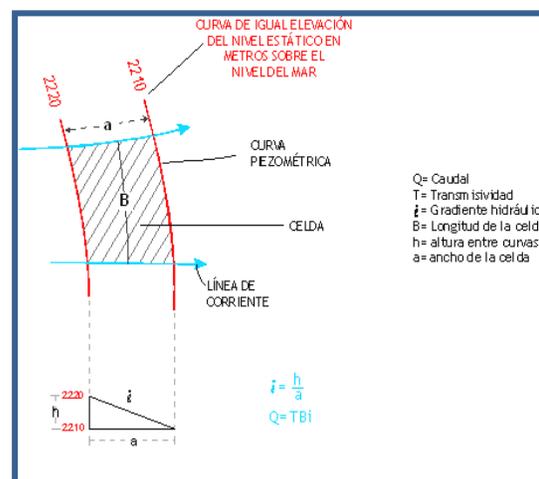
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

T = Transmisividad (m²/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



En esta configuración se seleccionaron canales o celdas de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se puede observar que para las celdas identificadas se presenta un flujo total de entrada de **44.3 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal (2007)

CELDAS	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	8500	4500	20	0.004444	0.0014	0.0525	1.7
E2	10700	4000	20	0.005000	0.0014	0.0743	2.3
E3	5500	4500	20	0.004444	0.0014	0.0340	1.1
E4	5750	5250	20	0.003810	0.0014	0.0304	1.0
E5	7000	4250	20	0.004706	0.0028	0.0915	2.9
E6	5000	6250	20	0.003200	0.0028	0.0444	1.4
E7	13750	1000	20	0.020000	0.0014	0.3819	12.0
E8	10000	1250	20	0.016000	0.0014	0.2222	7.0
E9	9250	1000	20	0.020000	0.0014	0.2569	8.1
E10	16750	1750	20	0.011429	0.0007	0.1329	4.2
E11	13750	3750	40	0.010667	0.0006	0.0849	2.7
Total entradas							44.3

7.1.3. Recarga en calizas (Rc)

Las formaciones calcáreas que afloran en las sierras que delimitan el valle, tienen un comportamiento independiente. La recarga en ellas se evaluó de manera separada en las zonas de La Madrid y La Candela y proviene de la lluvia que precipita y se infiltra de manera local. Para su estimación se consideró que el volumen que reciben es al menos de la misma magnitud que las salidas que provienen de las calizas, a través de los pozos perforados en ellas y la descarga de los manantiales que se localizan en los flancos de las sierras. La extracción por bombeo en estas zonas es de 7.6 hm³/año, de los cuales 3.7 hm³/año se extraen en la zona de La Madrid y 3.9 m³/año en La Candela. La descarga de los manantiales se calculó en 8.8 hm³/año

De esta manera, en conjunto la recarga en calizas es de **16.4 hm³/año**.

7.1.4. Recarga inducida (Ri)

Para la estimación de esta componente, se considera que en promedio se infiltra anualmente el 20.7% de volumen destinado al uso publico-urbano (53.5 hm³) y del volumen para uso agrícola (24.6 hm³). Por lo tanto la recarga inducida se estima en **16.2 hm³/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 **96.0 hm³**.

7.2.2. Descarga a través de manantiales (Dm)

En la zona existen 13 manantiales que en conjunto descargan un caudal de 440 lps, que representan un volumen anual de **13.9 hm³**.

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 presentada en la figura 5. El valor calculado es de **6.5 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2007)

CANAL	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	5500	3750	20	0.005333	0.0019	0.0543	1.7
S2	5500	3000	20	0.006667	0.0019	0.0679	2.1
S3	7500	3250	20	0.006154	0.0019	0.0855	2.7
Total salidas							6.5

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, los registros existentes de estudios previos se encuentran dispersos en tiempo y espacio y sólo cubren la porción central del acuífero. Adicionalmente, aun 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 lo tanto para efecto del balance de aguas subterráneas, $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical (Rv). De la ecuación (2), se tiene que:

$$\begin{aligned}
 Rv &= B + Sh + Dm - Eh - Rc - Ri \pm \Delta V(S) \quad (2) \\
 Rv &= 96.0 + 6.5 + 13.9 - 44.3 - 16.4 - 16.2 + 0 \\
 Rv &= 39.5 \text{ hm}^3/\text{año}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 Rt &= Rv + Eh + Rc + Ri \\
 Rt &= 39.5 + 44.3 + 16.4 + 16.2 \\
 Rt &= 116.4 \text{ hm}^3/\text{año}
 \end{aligned}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\text{DAS} = Rt - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

DAS: Disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero

Rt: Recarga total media anual

DNCOM: Descarga natural comprometida

VCAS: Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA

8.1. Recarga total media anual (Rt)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (Rt), 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 **116.4 hm³/año**, de los cuales 110.2 hm³ son recarga natural y 16.2 hm³ recarga inducida.

8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

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.

En este caso la descarga natural comprometida es de **20.4 hm³/año**, de los cuales 6.5 hm³/año corresponden a las salidas subterráneas hacia el acuífero Región Carbonífera y 13.9 hm³/año a la descarga de los manantiales que se localizan tanto en los flancos de las sierras calcáreas como en el valle.

8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte al **31 de marzo de 2013 es de 112'501,287 m³ anuales**.

8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)

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, de acuerdo con la expresión (3,) se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\begin{aligned} \text{DAS} &= R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \\ \text{DAS} &= 116.4 - 20.4 - 112.501287 \\ \text{DAS} &= -16.501287 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, por el contrario su **déficit** es de **16.501287 hm³ anuales** que se extraen del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFIA

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).

Comisión Nacional del Agua, 2007. Actualización Geohidrológica de los acuíferos Monclova y Saltillo Ramos Arizpe, en el Estado de Coahuila. Realizado por GEOPSA, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica Dirección General de Programas, Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas.1981. Estudio Geohidrológico preliminar de la zona de Monclova, Coahuila. Realizado por Ingeniería Integral (ININSA, S.A.).