

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CASTAÑOS (0519), ESTADO DE
COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	1
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del acuífero	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1 Provincia fisiográfica.....	7
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía	8
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	10
4.1 Estratigrafía.....	11
4.2 Geología estructural	19
4.3 Geología del subsuelo	20
5. HIDROGEOLOGÍA.....	21
5.1 Tipo de acuífero	21
5.2 Parámetros hidráulicos.....	23
5.3 Piezometría	23
5.4 Comportamiento hidráulico.....	23
5.4.1 Profundidad al nivel estático	23
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	25
5.4.3 Evolución del nivel estático	26
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	27
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	28
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	28
7.1 Entradas	29
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	29
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	30
7.2 Salidas.....	31
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	32
7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)	32
7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	32
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	32
8. DISPONIBILIDAD	33
8.1 Recarga total media anual (R).....	34
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	34
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	34
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	35
9. BIBLIOGRAFÍA	36
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 Castaños, definido con la clave 0519 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-oriental del estado de Coahuila, abarcando una superficie de 5,080 km², que comprende territorio de los estados de Coahuila y Nuevo León, entre las coordenadas 26° 15' y 26° 55' de latitud norte y los meridianos 100° 30' y 105° 47' de longitud oeste. Es un extenso valle que se eleva a 800 y 900 msnm.

Colinda al norte con el acuífero Monclova, al poniente Cuatrociénegas, al sur con Paredón. Al oriente limita con los acuíferos Lampazos-Villaldama y Campo Jaritas,

ACUIFERO 0519 CASTAÑOS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	12	50.1	26	22	43.0	
2	101	16	48.5	26	18	45.0	
3	101	23	55.0	26	20	1.1	
4	101	35	34.0	26	27	0.8	
5	101	29	20.9	26	26	3.0	
6	101	33	5.8	26	29	21.5	
7	101	41	30.6	26	33	34.3	
8	101	48	19.9	26	42	46.4	
9	101	48	13.4	26	47	47.5	
10	101	45	30.9	26	49	45.9	
11	101	44	45.4	26	51	25.1	
12	101	29	8.3	26	48	59.2	
13	101	21	9.6	26	49	15.0	
14	101	6	36.9	26	41	50.9	
15	100	59	6.6	26	32	52.9	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	38	31.0	26	39	5.4	
17	100	34	46.1	26	34	9.4	
18	100	28	49.6	26	19	58.5	
19	100	36	22.1	26	17	1.5	
20	100	39	43.9	26	19	50.4	
21	100	44	11.9	26	18	17.6	
22	100	45	40.9	26	12	40.4	
23	100	48	36.5	26	11	43.8	
24	100	52	42.6	26	14	52.1	
25	100	58	0.7	26	15	12.9	
26	101	12	8.7	26	22	22.1	
1	101	12	50.1	26	22	43.0	

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Castaños pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial del estado de Coahuila. En su territorio no existen actualmente decretos de veda de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

El usuario principal es el agrícola. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, a la fecha tampoco se ha constituido Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la región que comprende la superficie del acuífero, se han llevado cabo varios estudios hidrogeológicos de evaluación, destacando entre ellos los siguientes:

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE CASTAÑOS, ESTADO DE COAH.,

elaborado por la empresa Hidrogeología, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en el año de 1980. El objeto de este trabajo fue conocer las condiciones geohidrológicas, funcionamiento de los acuíferos y factibilidad de extracción de agua subterránea, así como definir la presencia y distribución de zonas arrecifales dentro de las formaciones calcáreas permeables y localizar las áreas más favorables para la perforación de pozos exploratorios. La zona estudiada tuvo una superficie de 6,000 km² y se obtuvo un volumen llovido de 1,728 hm³/año. No presenta escurrimientos importantes. Menciona que el acuífero granular tiene reducida capacidad por el alto contenido arcilloso, reducida recarga y en algunas zonas por la presencia de concentraciones salinas que degradan la calidad del agua. Concluye que las rocas de las formaciones Aurora y Cupido o equivalentes, corresponden al principal acuífero de la región. Ubica cinco sitios con características geohidrológicas apropiadas para la perforación de pozos exploratorios, uno de ellos localizado en la boca del Cañón Bocatoche, ubicado al poniente de la población de Castaños.

ESTUDIO DE EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA EN LAS INMEDIACIONES DE MONCLOVA, COAH., elaborado por Consultores, S.A. para la Comisión Federal de Electricidad en el año de 1980.

Este trabajo incluye la parte norte del acuífero Castaños. El informe contiene información relacionada con isoyetas, isotermas, plano geológico, plano hidrogeológico, secciones geológicas y planos de calidad del agua, así como configuraciones de la profundidad y elevación del nivel estático.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO E HIDROLÓGICO PARA CONOCER LA POTENCIALIDAD DE LOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS Y AGUAS SUPERFICIALES EN LOS ALREDEDORES DE MONCLOVA, COAH, elaborado por Lesser y Asociados, S.A. para Altos Hornos de México, S.A. en el año de 1985.

El objetivo de este trabajo fue localizar fuentes de aprovechamiento de agua de buena calidad para satisfacer el déficit que tenía la empresa AHMSA, incluyendo a la población de Castaños. Concluyó que existen dos acuíferos independientes que corresponden al acuífero somero granular y al acuífero calcáreo. Indica que el acuífero somero granular se encuentra en los materiales aluviales cuaternarios que constituyen los valles, los cuales presentan un espesor de 100-200 metros, tiene una permeabilidad baja y media, explotados por un gran número de pozos someros que extraen caudales del orden de 2 lps, con alto contenido salino.

Describió las unidades de roca que constituyen al acuífero calcáreo cuya zona de recarga se ubica en los afloramientos de las sierras, donde parte de la precipitación pluvial se infiltra a través de las fracturas y conductos de disolución, hasta alcanzar el nivel de saturación del acuífero.

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO ESTRUCTURAL Y DE HIDROGEOLOGÍA CÁRSTICA EN EL ACUÍFERO DE MONCLOVA, ESTADO DE COAH., elaborado por la empresa SIMA para la Comisión Nacional del Agua en el año 2002. En este trabajo se llevó a cabo una amplia descripción de la geología tanto superficial como subterránea. Incluyó mapas y secciones geológicas de detalle.

Tuvo por objeto identificar y delimitar las rocas carbonatadas cársticas y su relación con el almacenamiento y calidad de las aguas subterráneas, actualizar el conocimiento sobre el modelo geológico de la zona de Monclova, así como investigar el funcionamiento de los acuíferos.

Se identificaron las estructuras geológicas con posibilidades de constituir acuíferos y se seleccionaron sitios en los que se recomienda construir pozos exploratorios. Se visitaron 136 aprovechamientos de agua subterránea en donde se encontró que los más someros corresponden a norias y pozos poco profundos (de 10 y 50 metros), en los valles de Monclova y Castaños.

Se realizó una caracterización hidrogeoquímica, obteniendo que en los acuíferos en calizas se extrajera agua fría (20°C) y termal (37-49°C). Indicaba también que la conductividad eléctrica del agua presenta un rango muy amplio que varía de 285 a 5,400 micro μ /cm. Identifica unidades hidrogeológicas correspondientes a un acuífero libre alojado en rellenos, un acuitardo superior, un acuífero superior en calizas, un acuitardo inferior, un acuífero inferior en calizas y un acuitardo basal. En el acuífero superior en calizas se encuentran varios manantiales importantes cuyos caudales llegan a ser de hasta 500 lps, con agua de buena calidad.

CENSO DE POZOS, elaborado por el Departamento de Aguas Subterráneas de la Dirección Local en Coahuila de la Comisión Nacional del Agua, que incluye la localización y características de los aprovechamientos ubicados en la porción del acuífero comprendida en el estado de Coahuila.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL ACUÍFERO CASTAÑOS, COAHUILA. Realizado en el año 2009 para la Comisión Nacional del Agua, Dirección Local en Coahuila, por el Instituto del Agua del estado de Nuevo León. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero mediante el diagnóstico de la evolución de los niveles del agua, contar con 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 y determinar la calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos medidos en campo y en laboratorio.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo, hidrometría, piezometría, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos, toma de muestras para análisis fisicoquímicos, ejecución de sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. Propone sitios adecuados para la perforación de pozos. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que se analizan y discuten en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

La zona en estudio se encuentra dentro de la provincia fisiográfica “Región Montañosa de Coahuila”, que se caracteriza por tener numerosas sierras alargadas orientadas en sentido NW-SE, constituidas por pliegues anticlinales en rocas del Cretácico Medio e Inferior. Estas sierras se encuentran divididas por amplios valles y bolsones. De acuerdo a la clasificación de subprovincias fisiográficas del Servicio Geológico Mexicano (antes CRM), la zona estudiada forma parte de la Sierra Madre Oriental. Al oriente y fuera del área, se encuentran las Llanuras de Norte América.

3.2 Clima

En la zona de estudio impera un clima clasificado como BW_hw, que corresponde a un tipo muy seco, semicálido, en la mayor parte del acuífero, que corresponde a una extensa planicie. Limitando la planicie, se encuentran grandes elevaciones topográficas donde el clima se modifica ligeramente al tipo BS_{oh}x, que se califica como semiseco, semicálido.

La precipitación media anual del acuífero es de 300 mm hacia la planicie que cubre la mayor parte de la zona de estudio. Se presentan valores entre 300 y 400 mm al pie de las sierras y poco más de 400 mm sobre las elevaciones topográficas que lo circundan. El periodo de lluvias se presenta entre abril y octubre con alrededor de 40 mm mensuales en Monclova y 60 mm mensuales en Castaños. La precipitación media anual para el periodo 1951-1985 en Monclova es de 361.3 mm y de 288.8 mm para el periodo de 1983-2001 en Castaños.

La temperatura media anual en el área cubierta por el acuífero Castaños es de 20°C hacia la planicie que cubre la mayor parte de la zona de estudio y disminuye hasta 16°C en las elevaciones topográficas que lo limitan, el periodo más caluroso se presenta entre mayo y septiembre con 25°C de temperatura media mensual.

La evaporación potencial media mensual para la estación Monclova, en verano es de poco más de 250 mm y su valor promedio anual alcanza 1,802.5 mm.

3.3 Hidrografía

La región que comprende el acuífero forma parte de la Región Hidrológica 24 y de la Cuenca de la Presa Falcón – Río Salado. Su porción noroeste, alrededor de la población de Castaños, se ubica dentro de la subcuenca “g” que drena hacia Monclova y que se extiende por una superficie de 5,345 km², mientras sus regiones central y oriente del acuífero pertenecen a la subcuenca “j”, que tiene una superficie de 5,614 km² y que drena hacia el estado de Nuevo León.

3.4 Geomorfología

El relieve de la superficie del terreno en la zona en estudio permite diferenciar cuatro unidades geomorfológicas: Sierras calcáreas e intrusivas, lomeríos-mesetas, valles y pies de monte.

Sierras calcáreas. Son las principales elevaciones que limitan la zona de estudio. Una de las principales corresponde a la Sierra La Gloria, ubicada al este de la Ciudad de Castaños. Está constituida por rocas calizas de edad cretácica. Forma un anticlinal con orientación NW-SE que presenta buzamiento en el extremo sureste. Se eleva a poco más de 1,500 msnm y a 500 metros sobre los valles circundantes.

Sobre los flancos de esta sierra, existe un drenaje paralelo en los cuales circula el agua superficial en época de lluvias. El norte de la sierra se encuentra disectado por el Cañón del Chipilín, el cual presenta formas abruptas, con acantilados de varias decenas de metros, en el que se forma parte de la corriente que da origen al Río Monclova.

Al poniente y sur-poniente del acuífero, se encuentran las sierras de La Purísima, Santo Domingo y La Gavia, las cuales corresponden a anticlinales de gran magnitud, con buzamientos en los extremos NW y SE (fuera del acuífero).

Las Sierras La Purísima y Santo Domingo, tienen una longitud de 35 km dentro del área cubierta por el acuífero y hacia su centro presentan potreros erosionados sobre el eje del anticlinal. Se eleva a poco más de 1,600 msnm y a 540 metros sobre los valles circundantes. Al sur de la zona estudiada se encuentra la Sierra La Gavia, que es un anticlinal en rocas calizas del Cretácico con una dirección NW-SE.

Se eleva a 1,400 msnm y a 500 metros sobre la zona de Castaños. Tiene una longitud de 50 kilómetros y una anchura aproximada de 6 kilómetros. Su núcleo está erosionado, donde se encuentran lomeríos a menor altura que contrastan con los flancos de la sierra, que presenta gran altura y en ocasiones acantilados espectaculares.

Sierras intrusivas. Al norte de la Ciudad de Castaños se encuentra un domo provocado por un intrusivo conocido como Cerro del Mercado. En la parte central y más alta, afloran rocas intrusivas y sobre los flancos la secuencia estratigráfica del Cretácico, que en forma de anillos circunda al intrusivo. Alcanza una altura de 1,200 msnm y 400 metros sobre el valle. Presenta una forma de domo-cono, con pendientes de 40° y sobre sus flancos se establece un drenaje radial. Otras sierras intrusivas se encuentran a 15 kilómetros al poniente y 20 kilómetros al SSE de Castaños (Sierra La Zorra), con características semejantes al Cerro del Mercado, pero menor altura.

Lomeríos y mesetas. Esta unidad geomorfológica se encuentra al centro de la planicie, al sur de Acatita de Baján. Corresponde a algunos remanentes de erosión de las formaciones del Cretácico Superior. Los lomeríos presentan formas redondeadas que se elevan 100 metros sobre el nivel del valle.

También se encuentran algunas mesetas de la Formación Eagle Ford-Austin al norte de la Sierra de La Gavia, donde una capa de calizas “competentes” ha limitado la erosión de materiales más suaves que la subyacen, dando origen a mesetas.

Valles. Corresponde principalmente a la gran extensión plana localizada entre Castaños (en el norte), y la Sierra de Bustamante en el sureste (dentro del Estado de Nuevo León), limitada por las sierras La Gloria ubicada al noreste, Santo Domingo al suroeste y La Gavia al centro-sur.

Es un extenso valle que se eleva a 800 y 900 msnm. En el valle se encuentran escasas corrientes fluviales de tipo intermitente, parte de las cuales escurren de la Sierra La Gloria hacia Castaños y continúan rumbo a Monclova (en la parte norte). En la mayor parte del valle (centro y sur de la planicie), los escurrimientos son escasos y drenan hacia el sureste.

Pies de monte. En los límites entre las sierras y el valle, se encuentran depósitos de pie de monte. En algunos de ellos se han desarrollado típicos abanicos aluviales. Se encuentran disectados por arroyos intermitentes que permiten los escurrimientos superficiales que provienen de las partes altas de las sierras, para continuar hacia el valle, donde la mayor parte de ellos desaparecen

4. GEOLOGÍA

La columna geológica de la zona de estudio, está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico que afloran en las sierras La Gloria y Purísima y que hacia la planicie se encuentran cubiertas por un conglomerado del Terciario y aluviones del Cuaternario. Su distribución general se muestra en la figura 2.

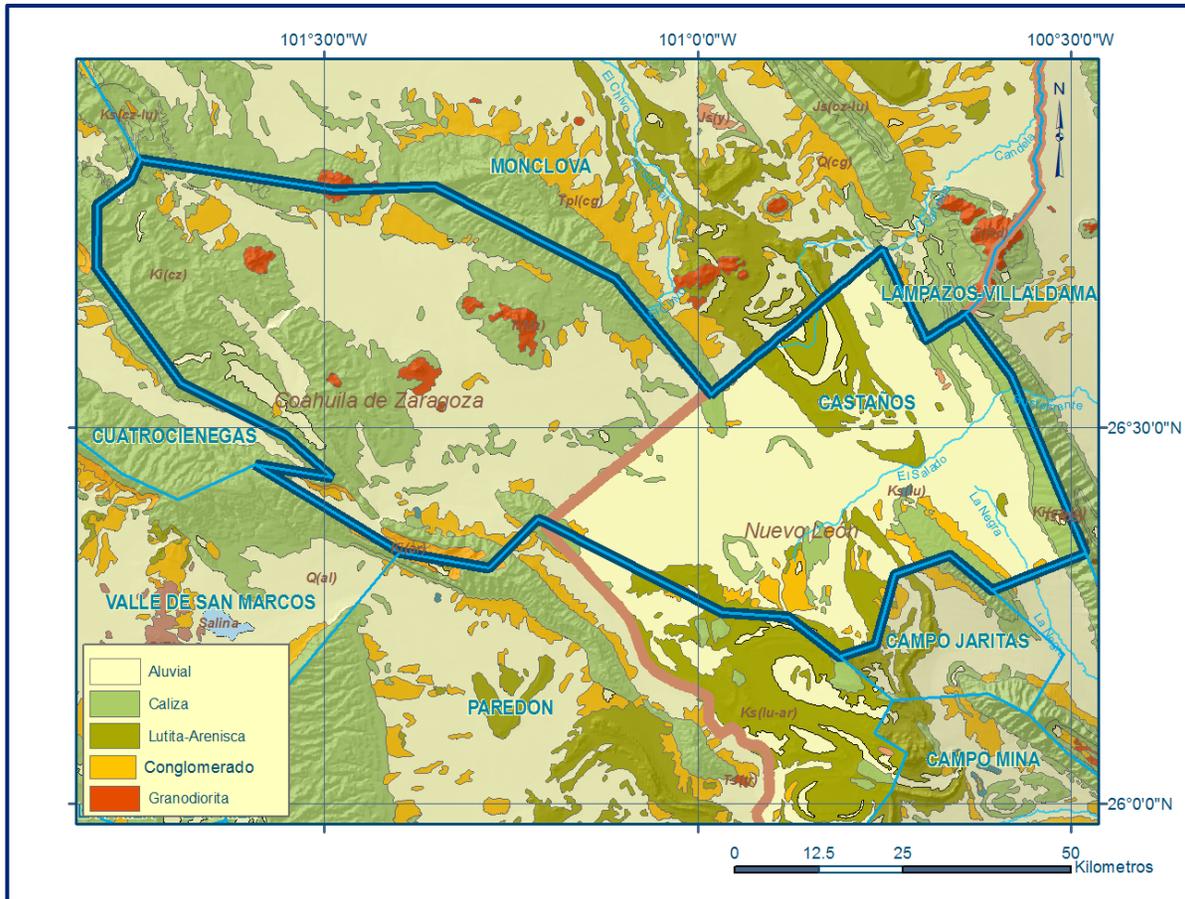


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la zona de trabajo afloran rocas calcáreas del Cretácico, intrusivos del Terciario y materiales aluviales del Terciario y Cuaternario. El Cretácico está representado por las formaciones Patula, Cupido, La Peña, Aurora (Tamaulipas Superior), Kiamichi y el Grupo Washita (integrado por las formaciones Georgetown, Del Río y Buda). Representando al Terciario, aflora el Conglomerado Sabinas y al Cuaternario los materiales aluviales. También se encuentran intrusivos de edad terciaria.

Formación Patula (Arcosa Patula)

Fue definida formalmente por Kane e Imlay, 1940. Por su composición litológica, se le identifica también como Arcosa Patula. Tiene su localidad tipo en la parte central del Potrero de La Gavia, localizado en el extremo sur del área de estudio. Se le han identificado tres miembros. La parte inferior que consiste de subarcosas y ortocuarcitas, de estratificación media a gruesa y color rojo.

La parte media y superior que está formada por lutitas arenosas, arcósicas y subarcósicas, de color rojo, en estratos medios a gruesos, subangulares, conglomeráticos y medianamente clasificados.

Tiene un espesor total en la Sierra La Gavia de 930 m. Subyace a la Formación Cupido en contacto transicional. Se le considera una edad del Hauteriviano Inferior y prácticamente todo el Barremiano. Imlay le asignó una edad del Hauteriviano.

Formación Cupido

Esta formación fue definida por Imlay 1937, como una caliza gris en estratos medios y gruesos que se encuentran descansando sobre la Formación Taraises y bajo la Formación La Peña, en la Sierra de Parras, Coah. Consiste principalmente de calizas de color gris oscuro al fresco y gris azulado a la intemperie. Tiene fractura subconcoidea.

Hacia la cima, las capas son de mayor espesor que hacia la base, observándose estratos entre 2 y 3 m. También son frecuentes las estilolitas. Los principales afloramientos de la Formación Cupido en el área de estudio, se encuentran en las sierras de La Purísima y Santo Domingo al poniente y en las sierras de La Gavia y Sierra Azul al sur. 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.

En su porción principal, consta de una caliza micrítica, compacta, gris crema, a veces cretosa o arcillosa. Se identificó en el flanco norte del Cañón la Gavia, donde subyace a la Formación La Peña.

Esta última, que es fácilmente identificable por ser menos competente que las dos unidades que la limitan: formaciones Aurora y Cupido. La Formación Cupido sobreyace a la Formación Patula (dependiendo del cambio de facies) al parecer concordantemente y de la misma manera subyace a la Formación La Peña.

No presenta fósiles característicos pero presenta bancos de rudistas que indican que corresponde a una facies arrecifal. También incluye horizontes de calizas dolomitizadas e incluso facies calcáreas de tipo lagunar. La edad que se determinó para esta formación en el Norte de México, es de Barremiano Superior- Aptiano.

Formación La Peña

Esta formación fue 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. Tiene una amplia distribución en las sierras del poniente y sur (La Purísima, Santo Domingo y Sierra Azul), formando un característico puerto de erosión en sus afloramientos entre las calizas de las Formaciones Cupido y Aurora, a las que sobreyace y subyace respectivamente, de manera concordante.

La Formación La Peña tiene abundante fauna de amonitas y por lo mismo se considera un horizonte índice paleontológico, que es correlacionable con el Horizonte Otates de la Cuenca de Tampico. La edad que se le ha asignado es de Aptiano Superior por la presencia de *Dufrenoya texana* (Burckhardt) y *Chelonicerias C.F.C.* (Burckhardt).

Formación Aurora

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte norte de México y se correlaciona con unidades de prácticamente toda la Sierra Madre Oriental. Se correlaciona con la Formación Tamaulipas Superior. En el presente trabajo y por la literatura previa existente, se le conservó el nombre de Formación Aurora. Está constituida por bancos de calizas de color gris claro, densa y compacta, en estratos de 2 a 4 m, dolomitizada en su parte basal, con fractura concoidea y nódulos de pedernal abundantes, sobre todo en las capas superiores.

Presenta además estilolitas. Subyace concordantemente a la Formación Kiamichi y de la misma forma suprayace a la Formación La Peña. La Formación Aurora constituye el “espinazo” de la mayor parte de las sierras anticlinales, principalmente en la porción poniente del área del presente trabajo. Su distribución se puede considerar como la más amplia de las formaciones cretácicas en esta área.

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. La Formación Aurora se puede correlacionar en edad con las formaciones Cuesta del Cura, Tamaulipas Superior, El Abra, Tamabra y Taninul, de la parte central-oriente de México, y con la Formación Glen Rose de la cuenca Maverick en Texas.

Formación Kiamichi

El término “Formación Kiamichi” fue utilizado originalmente por Hill, 1891, para las lutitas y margas que afloran en el Río Kiamichi del Condado de Choctaw, Oklahoma. En la zona de Castaños, las capas expuestas de la Formación Kiamichi se encuentran distribuidas en todas las sierras que circundan al valle, como son las sierras La Gloria, Purísima, Santo Domingo, Sierra Azul y La Gavia, en un quiebre arcilloso característico entre las formaciones Aurora y Georgetown. Litológicamente, consiste de la base a la cima, de una alternancia de lutita y caliza arcillosa, ambas carbonosas y de color negro, de estratificación delgada, con concreciones de fierro. Sobre la roca anterior se presenta una caliza litográfica de color gris oscuro y negro, en estratos medianos.

Posteriormente, calizas arcillosas, fétidas, color gris oscuro a negro, de estratificación mediana, con intercalaciones de lutita laminar de color negro y nódulos de pedernal café. Hacia la cima los estratos se adelgazan considerablemente hasta tener espesores de 3 cm. Es común encontrar fósiles, principalmente amonitas de la familia *Oxytropidoceras*.

Se encuentra entre la Formación Aurora, a la cual sobreyace, y el Grupo Washita, al que subyace. Su delgado espesor y poca compacidad en relación con las rocas que la encajonan, así como su contenido faunístico, hacen que se comporte como un horizonte índice. Tiene una edad del Albiano Medio y Superior. Presenta un espesor entre los 75 y 150 m.

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.

Las formaciones del Grupo Washita (Georgetown, Del Río y Buda) prácticamente afloran en toda el área de trabajo y casi siempre se observan rodeando las sierras anticlinales a manera de cinturón y en ocasiones en sitios cercanos a algunos intrusivos. De las tres formaciones que constituyen el grupo, la Formación Georgetown es la de mayor distribución ya que además de los afloramientos mencionados, se encuentra expuesta en la mayor parte de la Sierra La Gloria. 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 la parte norte y este; en la Sierra de Sacramento (alrededor del Cerro del Mercado), en la Sierra La Gloria y en la parte sur de la Sierra de Santo Domingo. Consiste de calizas delgadas a medias con abundantes lentes de pedernal. Se divide en dos miembros. El miembro inferior consiste de caliza de textura “mudstone” a “wackstone” con globigerínidos, de estratificación gruesa y color gris claro. El pedernal que contiene en ocasiones es nodular y en otras se presenta como grandes cuerpos irregulares, para la parte superior 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

Esta formación fue 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. La litología de esta formación consiste de rocas predominantemente arcillosas, con abundantes nódulos de pirita y un color de intemperismo rojizo.

En algunos afloramientos en Texas, se han observado delgadas capas de areniscas de grano fino. La lutita se presenta comúnmente de color verde y con fósiles como Exogiras y equinoideos.

El espesor de la Formación Del Río es de 30 a 70 m en el área de Castaños, aunque varía radicalmente en afloramientos del norte de Coahuila y Sur de Texas. Smith 1965, midió al poniente del Río Bravo, cambios en el espesor de 0 a 62 m y sugiere que dichas variaciones son resultado de una actividad tectónica local durante el depósito de la formación.

La Formación Del Río descansa sobre la Formación Georgetown. Se considera que el depósito de esta formación se efectuó dentro del Cenomaniano.

Formación Buda

Esta formación fue descrita formalmente por Humphrey, 1956, para designar a una caliza de textura "mudstone" de estratos medianos a gruesos. En la parte inferior contiene de 4 a 7 m de una caliza nodular, margosa de textura "wackestone" y consistencia suave.

Hacia la parte superior de esta unidad, 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.

Formación Eagle Ford

Ferdinand Roemer, 1852, estudiada inicialmente en el estado de Texas y después en Hill, 1887. Determinaron que esta formación está constituida de lutitas, cuya posición estratigráfica se encuentra en la parte basal de la serie del Golfo de México. La localidad tipo de esta unidad, se encuentra en Eagle Ford, Texas.

La litología de esta formación se compone de una alternancia de lutita calcárea 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. Tiene un espesor aproximado de 200 m. La Formación Eagle Ford subyace a la Formación Austin y sobreyace a la Formación Buda, ambas relacionadas 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.

Formación Austin

Fue definida por Shumard, 1860, como una secuencia calcáreo-arcillosa y su localidad tipo se encuentra en Austin, Texas. La litología de la Formación Austin 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 de Coniaciano-Santoniano. La Formación Austin 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 del llano, en sitios como el valle formado entre las sierras La Gloria, Sierra Azul y Santo Domingo.

Conglomerados Sabinas

Esta unidad fue definida en la Región Carbonífera de Sabinas, para 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. El espesor que se le ha calculado es de 30 m. Sobreyace discordantemente a las formaciones del Cretácico Superior y de acuerdo con su posición estratigráfica se le ha asignado una edad de Mioceno-Plioceno.

Aluvión Cuaternario

Cubriendo los valles se encuentran materiales granulares producto del intemperismo y erosión de las partes topográficamente altas. Corresponden principalmente a arenas, gravas y cantos rodados de calizas.

En las zonas cercana a las sierras, predominan los cantos rodados, principalmente a lo largo de los arroyos intermitentes que los acarrearán en épocas de lluvia, en especial lluvias fuertes que se precipitan en poco tiempo y acumulan grandes volúmenes de agua que mueven enormes cantidades de cantos rodados y bloques de hasta más de 1 metro de diámetro.

Hacia las partes bajas de los valles, predominan las gravas y arenas a lo largo de incipientes cauces de inundación, donde solo corre agua superficial en tiempos de lluvias, los que provocan la acumulación de dichos materiales en espesores generalmente de 10 a 30 metros. En la mayor parte del valle, se encuentran materiales aluviales finos, principalmente arcillas y en menor proporción arenas y gravas depositados por corrientes superficiales trenzadas que se presentan en pocas ocasiones. Las arcillas y arenas finas, en parte son transportadas por el viento.

4.2 Geología estructural

Pliegues. Predominan los pliegues anticlinales que dan origen a las principales sierras de la zona como son las sierras La Purísima, Santo Domingo y La Gavia (al poniente y sur del valle de Castaños), así como la Sierra La Gloria al oriente. El anticlinal La Purísima se ubica en el extremo poniente del área de estudio, tiene una orientación NW-SE y una longitud de 30 km en la porción comprendida por el presente acuífero. Presenta un ancho de aproximadamente 4 km y se caracteriza por tener flancos con inclinaciones fuertes, variables entre 60 y 90°.

El anticlinal de Santo Domingo se localiza también en la porción poniente, tiene una longitud de 35 km y una orientación NW-SE, mientras que su anchura es de 6 km en la parte central y norte, y se amplía a 12 km en su porción sur. Los echados dentro de esta estructura, generalmente son del orden de 30° con excepción de algunas partes del flanco poniente que presentan inclinaciones mayores de 60°, ocasionando que el pliegue sea asimétrico.

En la parte sur del acuífero, se encuentra la Sierra La Gavia, la cual corresponde a un anticlinal simétrico con una orientación NW-SE y una longitud de poco más de 40 km, de los cuales la mitad se ubican dentro del acuífero Castaños. Este anticlinal se encuentra erosionado en su porción central, formando un amplio potrero. En el denominado Cañón La Gavia, se observa la inclinación de los estratos del flanco norte con echados fuertes, del orden de 70°, mientras que en el flanco sur la inclinación de las capas llega a ser de 85°. La anchura de este anticlinal varía de 6 a 8 km.

En la parte norte y oriente de la zona de estudio, se encuentra la Sierra La Gloria, la cual está constituida por un anticlinal de 60 km de longitud que presenta una orientación NW-SE. En la parte norte (al oriente de Castaños), presenta una bifurcación que da origen a un pliegue anticlinal doble, donde alcanza una anchura de 15 km y los echados son del orden de 30°, excepto en el flanco oriental donde alcanzan 60°.

Hacia la parte central y sur de este anticlinal, su anchura disminuye a 7 y 2.5 km respectivamente. Buza en su extremo sur, a la altura del Rancho El Zapatero. Los echados del flanco oriental en la parte media de la estructura, son del orden de 60° y más suaves en el poniente que en el oriente. En el extremo sur del anticlinal, los echados del flanco poniente son de 35°.

En el extremo sur de la zona de estudio se encuentra el anticlinal Sierra Azul, el cual tiene una orientación NW-SE, una longitud de 15 km y una anchura de 4.5 km. Presenta buzamientos en sus extremos NW y SE. La inclinación de los flancos del anticlinal es fuerte, del orden de 60°. Fallas y fracturas. Dentro de la zona en estudio destacan las fallas inversas sobre los flancos este y oeste de la Sierra Santo Domingo, donde se ha inferido una falla de cabalgadura. Por lo que se refiere a fracturas, se encuentran muchos lineamientos sobre las sierras, los que fotogeológicamente han sido marcados y se interpretan como fracturas.

Posiblemente algunos sitios presenten desplazamientos, sin embargo, no son claros. Estos fracturamientos son notables en los cuatro intrusivos que se encuentran aflorando dentro del acuífero, los que afectan también a las rocas que los encajonan. Las fracturas no tienen una orientación definida, salvo en la parte central de la Sierra Santo Domingo (al sur de El Zago), a la altura del intrusivo Marcelinos, donde predominan lineamientos marcados como fracturas, orientadas con una dirección este-oeste.

4.3 Geología del subsuelo

En la figura 3 se muestra una sección geológica que ilustra la distribución de las estructuras del subsuelo en el acuífero.

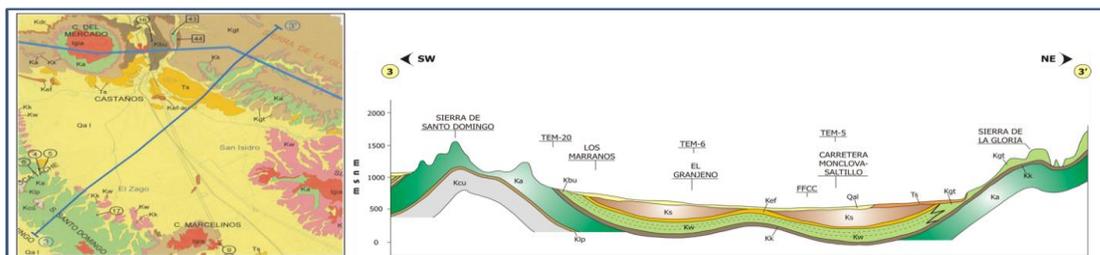


Figura 3. Sección geológica SW-NE

La sección tiene una orientación SW-NE, perpendicular a las estructuras anticlinales, desde el flanco oriente de la Sierra de Santo Domingo a la altura del Cañón Bocatoche, hasta el NE donde se encuentra la Sierra La Gloria. Muestran el buzamiento de la Formación Aurora hacia el valle, para donde se podría alcanzar mediante perforaciones para la búsqueda de acuíferos calizos, tomando en cuenta la cota de la superficie del terreno, a fin de poder encontrar niveles piezométricos susceptibles de explotarse.

El acuífero se encuentra constituido, en su parte superior, por sedimentos aluviales y conglomerados, de baja permeabilidad; en tanto que su porción inferior se aloja en rocas calcáreas. Ambas unidades se encuentran separadas por sedimentos arcillo-calcáreos, que crean condiciones de semiconfinamiento.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Acuífero en aluviones. El subsuelo del valle se encuentra constituido por una capa de material aluvial (arenas, arcillas y gravas con algunos lentes de cantos rodados), que presenta reducida permeabilidad en la mayor parte del valle y una permeabilidad media hacia su porción central, en donde las corrientes superficiales intermitentes, han acarreado y acumulado material más grueso (arenas), que le confieren mejor permeabilidad.

En contraste, hacia los flancos del valle, predominan los materiales aluviales finos (arcillas) que presentan baja permeabilidad. Los aluviones que cubren el valle presentan espesores que varían desde 10 hasta alrededor de 80 metros. Bajo dichos materiales, se presentan tanto conglomerados del Terciario, como lutitas del Cretácico Superior, materiales que permiten la entrada de agua pero que impiden o limitan su salida, por lo que se clasifican como **“acuitardos”** (material saturado de muy reducida permeabilidad y bajo interés geohidrológico).

A la altura de Castaños, el agua circula hacia el norte. Existe un estrechamiento topográfico a la altura de este poblado, el cual provoca que el agua subterránea aflore en forma de manantiales, mientras que el flujo subterráneo es muy reducido. Los escurrimientos superficiales drenan esta porción en dirección al norte a través del Río Monclova. A esta porción se le denominó subsistema acuífero “Castaños” (figura 4).

En el límite sur del subsistema acuífero Castaños (a 24 km al sur de la población), se marcó un parteaguas hidrodinámico, a partir del cual se extiende el segundo subsistema acuífero que se denominó subsistema acuífero “Acámbaro”. En esta porción, el flujo subterráneo circula hacia el sureste. Hacia la parte central del valle convergen los arroyos durante avenidas máximas, donde se concentran los mayores espesores de material arenoso que son explotados por varias decenas de aprovechamientos de agua subterránea.

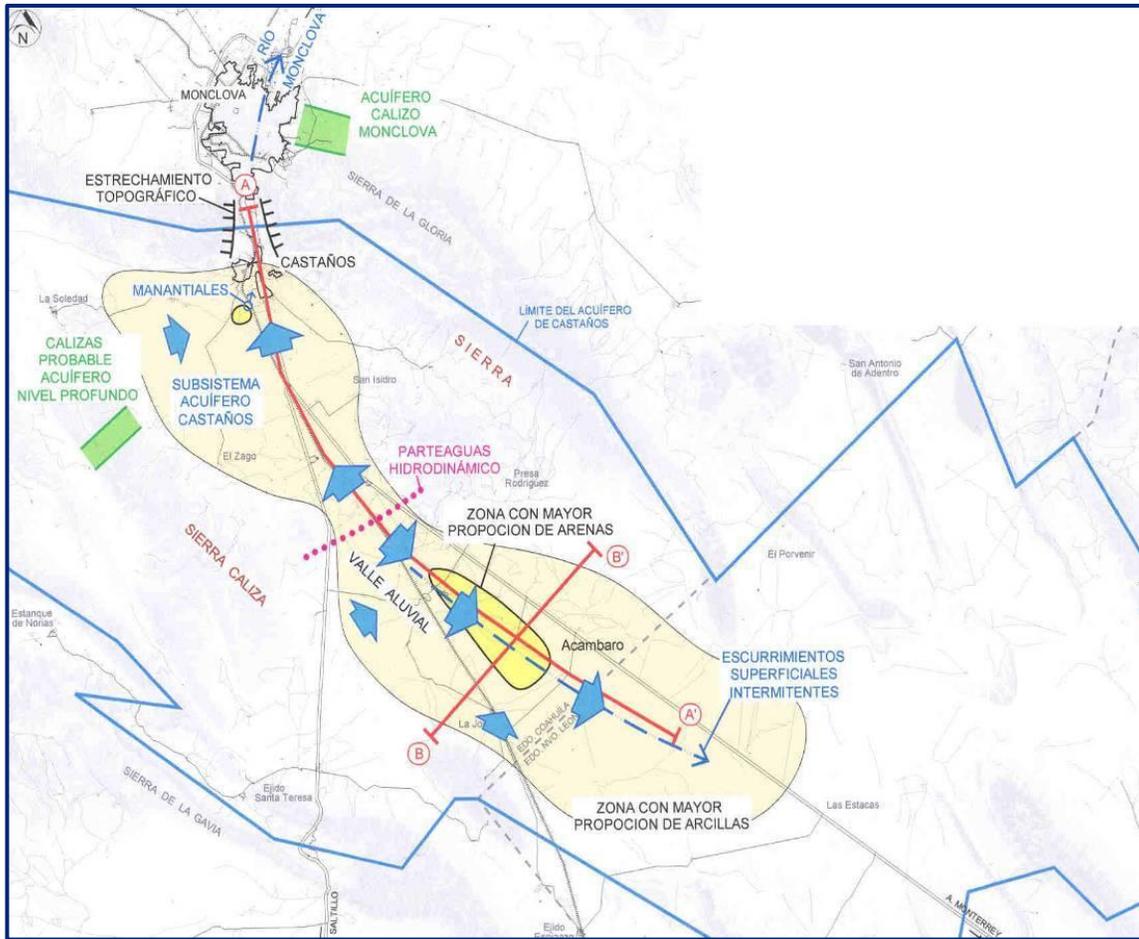


Figura 4. Tipo y funcionamiento de acuíferos

Acuífero en calizas. Entre las calizas que limitan el valle, destacan las que constituyen a la Formación Aurora, las cuales llegan a presentar permeabilidad secundaria a través de fracturas y conductos de disolución, que dan origen a un acuífero de alto potencial. Hacia la zona de Castaños, estas calizas se encuentran formando las partes altas de las sierras y se profundizan hacia el centro del valle en un amplio sinclinal, el cual ha sido perforado sin éxito en varios puntos cercanos a la Ciudad de Castaños. Se identificaron sitios que presentan condiciones favorables para la perforación en calizas de la Formación Aurora. El primero de ellos se localiza en la entrada del Cañón Bocatoche, donde estas rocas son cortadas por el cañón, siendo factible su prospección con fines de explotación. En este sitio, se recomienda una perforación exploratoria a 500 m de profundidad, de la cual se espera un nivel profundo. Otro sitio explorado corresponde al Cañón Los Difuntos (ubicado al suroeste de Castaños).

Sin embargo, en este sitio los afloramientos de las calizas se encuentran a cotas elevadas, alrededor de 200 m sobre el valle, por lo que se esperarían niveles muy profundos que hacen poco atractivo el sitio.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades que se consideraron en el estudio realizado en el 2009, se ejecutaron 10 pruebas de bombeo, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 1 a 28 horas, cuya interpretación arroja valores extremos que varían de 0.03 a $124.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. En general, los valores obtenidos son bajos y varían **de 0.25 a $1.06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , excepto algunos sitios ubicados cerca o sobre cauces de arroyos, donde predominan arenas y gravas sueltas con menor contenido de arcillas, donde la transmisividad es mayor (**3.0 a $13.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**), excepto el pozo 68 que se ubica sobre materiales limpios del cauce y cerca del manantial de Castaños, el cual presentó el valor más alto ($124.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$). En el área de Acámbaro, las transmisividades son bajas y varían de **0.03 a $0.51 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , debido a que los materiales que constituyen el subsuelo son más finos.

5.3 Piezometría

5.4 Comportamiento hidráulico

La información piezométrica disponible se encuentra dispersa en tiempo y espacio y no cubre en su totalidad la superficie del acuífero, por lo que el comportamiento de los niveles del agua se describe con base en la información recabada durante el año 2009.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

En la configuración de la profundidad al nivel estático mostrada en la figura 5, se observa que la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 10 a 60 m, registrándose los valores más bajos, hacia el centro del valle, en las inmediaciones de las localidades Castaños y Acámbaro.

En la población de Castaños y sus alrededores, es donde el agua subterránea se encuentra más somera, por la presencia de rocas impermeables bajo los aluviones, que funcionan como un “levantador” del nivel, el cual en décadas pasadas afloraba provocando la presencia de varios manantiales de caudal abundante, que han desaparecido al abatirse el nivel del acuífero. Hacia los pies de las sierras y debido a la elevación de la topografía, el nivel se profundiza hasta alcanzar los 60 m.

A 14 kilómetros al sur de Castaños, la topografía provoca que el nivel estático se encuentre a 20-30 metros de profundidad en el centro del valle y se profundice hacia los flancos a hasta 50 metros.

En la parte central del acuífero, la profundidad se encuentra entre 20 y 50 metros, las más someras hacia el centro del valle y las más profundas hacia los flancos de las sierras.

Por lo que se refiere a la parte sureste del acuífero, los niveles son someros, entre poco menos de 10 metros hasta poco más de 20 metros, salvo algunos puntos en la parte norte de esta porción, donde alcanza los 30 metros.

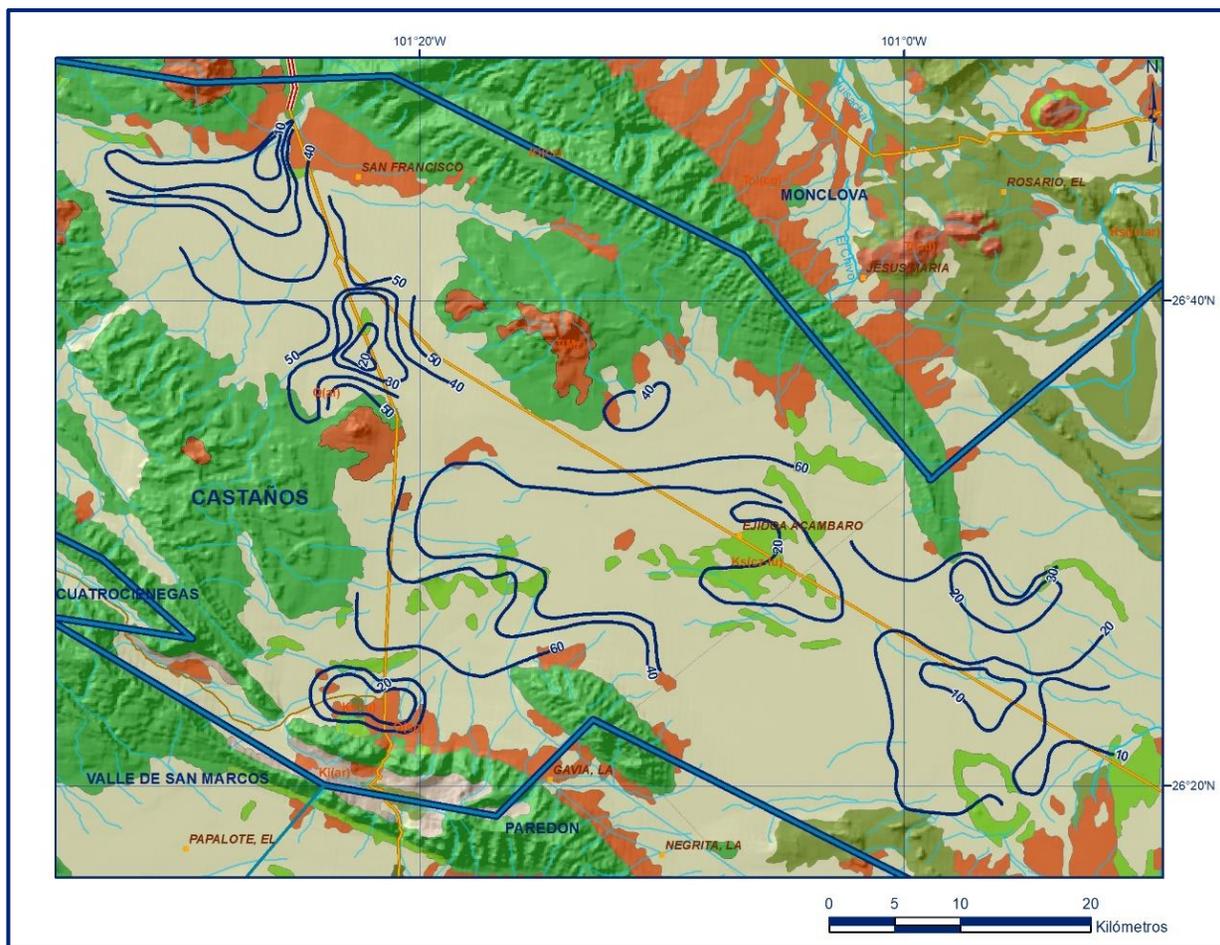


Figura 5. Profundidad al nivel estático en metros (2008)

5.4.2 Elevación del nivel estático

En la figura 6 se muestra la configuración de elevación del nivel estático, en la que se puede observar que es posible identificar la existencia de dos subsistemas acuíferos; uno se extiende de la población de Castaños hasta 24 kilómetros al sur de la misma, donde las curvas piezométricas más altas (900 msnm), descienden gradualmente hacia el norte hasta la curva 730 msnm, indicando un flujo subterráneo que circula de sur a norte. En el límite sur del subsistema acuífero Castaños, a partir de donde se marcó un parteaguas hidrodinámico, se extiende el segundo subsistema acuífero (Acámbaro).

En esta porción, las curvas piezométricas que se elevan a 900 msnm que descienden gradualmente hacia el centro del valle en una dirección NW-SE, hasta la curva 640 msnm, indicando una dirección de circulación del flujo subterráneo hacia el sureste.

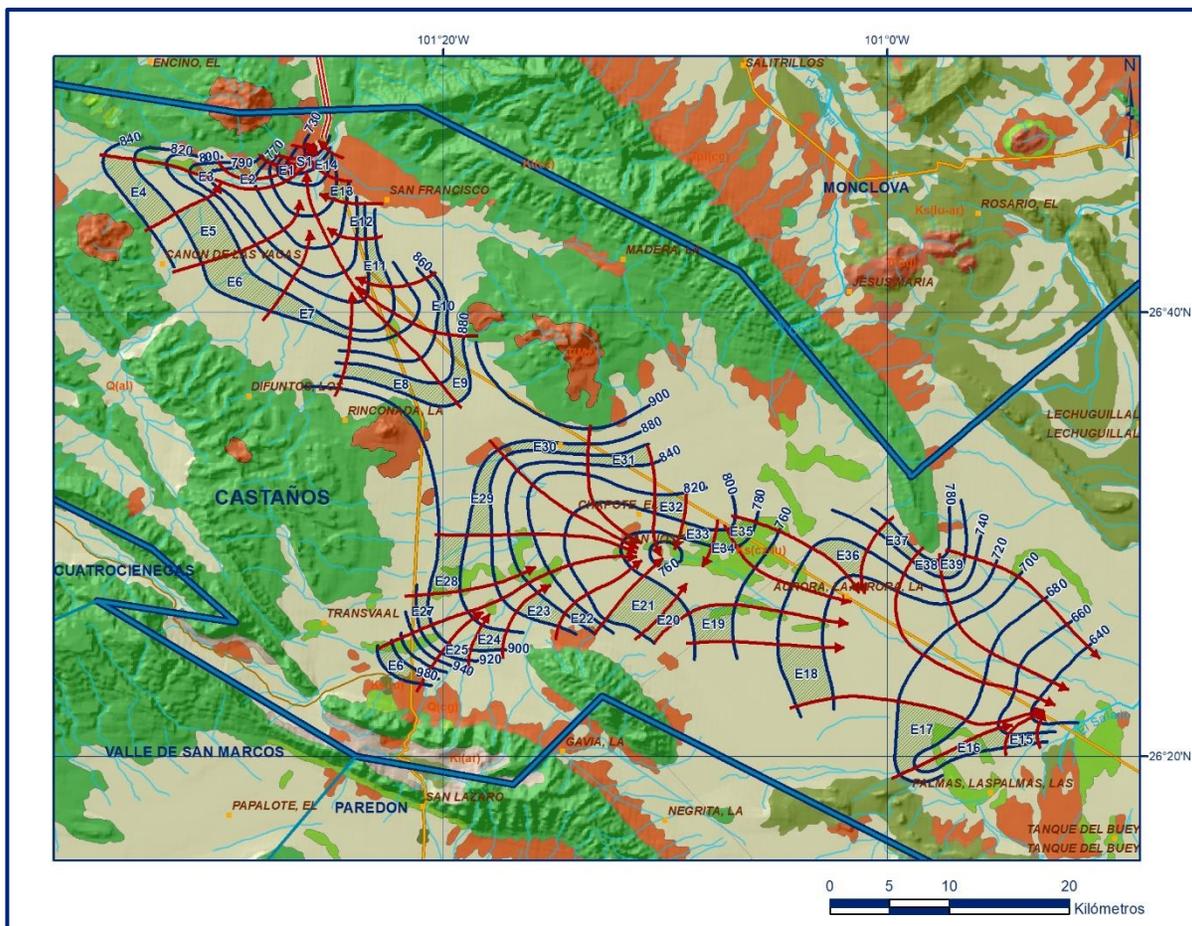


Figura 6. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, se tomó en cuenta los datos piezométricos recabados por la Dirección Local de la CONAGUA en Coahuila, que corresponden al 2003, para elaborar la configuración 2003-2009 que se muestra en la figura 7.

En dicha figura se observa que se han registrado evoluciones positivas, hasta de 10 metros en la zona de Castaños o parte norte del acuífero y 4 metros en la parte central del acuífero. De acuerdo al periodo analizado (2003-2009), se estimó una evolución media de 0.7 m/año en el subsistema Castaños y 0.5 m/año en el subsistema Acámbaro. Para la parte sureste del acuífero, no se contó con información que permitiera apoyar el cálculo de la evolución, pero se puede asumir el mismo ritmo anual de recuperación de 0.5 m/año.

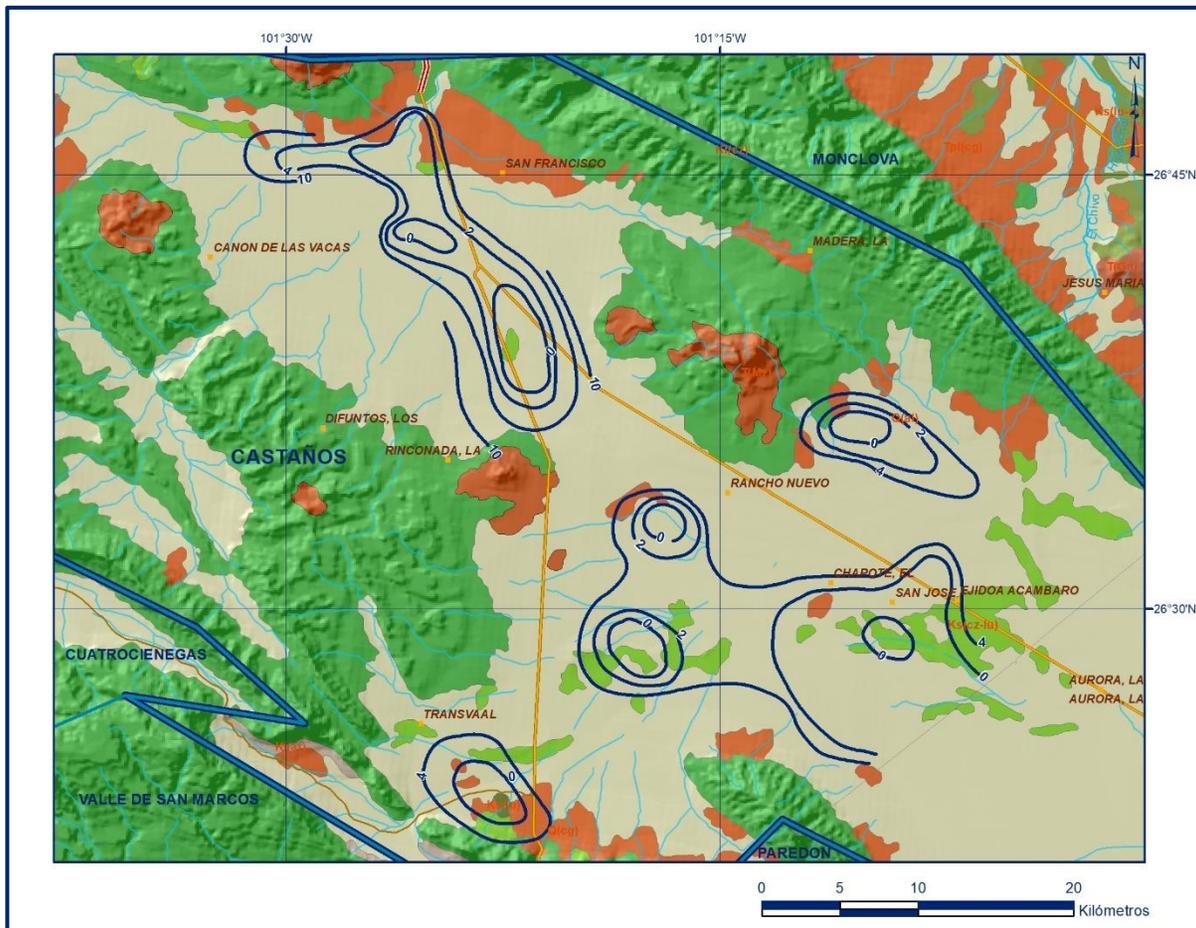


Figura 7. Evolución del nivel estático en m (2006-2009)

Cabe hacer notar que en el estado de Coahuila se han registrado precipitaciones pluviales por arriba de la media anual en los últimos 5 años, lo cual ha provocado la recuperación del nivel estático, tanto en el acuífero de Castaños, como en todos los localizados en el norte de la entidad.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte del estudio realizado en el 2009, se tomaron muestras de agua en 20 aprovechamientos para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Totales Disueltos (STD) varían de 600 a 4,000 mg/l. En Castaños la concentración de STD varía de 600 mg/l en la porción oeste, a 2,000 mg/l en el oriente. Al sureste de Castaños se encuentra una zona con alta salinidad cuyas concentraciones de STD alcanzan las 4,000 ppm. En la zona de Acámbaro, la salinidad del agua subterránea varía de 1,000 a 2,000 mg/l.

Con respecto a las familias del agua, hacia el norte y poniente, el agua subterránea es cálcico-bicarbonatada, como reflejo de las calizas de la Sierra de La Purísima y de sus productos de erosión, mientras que en la parte central del valle (donde se favorece la evaporación del agua superficial), el agua es cálcico-sulfatada por la presencia de sales evaporíticas de yesos y anhidritas depositadas entre los sedimentos del valle.

El agua subterránea en la mayor parte del acuífero presenta problemas de calidad para uso y consumo humano, ya que varios parámetros sobrepasan el límite permisible de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022.

Se clasificó el agua para su uso agrícola utilizando la clasificación de Wilcox. Se observa que en el área de Castaños y sus alrededores el agua se clasifica como C2-S1, que corresponde a agua con contenido medio de sales y baja proporción de sodio intercambiable, clasificada como agua de buena calidad para riego.

Hacia el sureste de esta población, el agua presenta alto contenido salino y se clasifica como agua C3-S1 y C4-S2, la cual presenta alta y muy alta salinidad que restringe su uso para riego, por lo que sólo se puede utilizar en suelos arenosos, con láminas de riego altas para evitar la salinización del suelo y/o realizar otras prácticas agrícolas como el lavado de suelos.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los datos del censo más reciente realizado en el 2009, se registró la existencia de 404 captaciones del agua subterránea, de las cuales 330 son pozos, 71 norias y los 3 restantes manantiales. Del total de obras, 256 están activas y 148 inactivas. De las obras activas, 65 son para uso agrícola, 119 para uso pecuario, 58 para uso doméstico y los 14 restantes para otros usos.

El volumen de extracción calculado es de **8.8 hm³/año**, de los cuales 5.0 hm³/año se extraen en el sistema norte y 3.8 hm³/año en el sur. De ellos, 4.3 hm³ (48.9 %) se destinan al uso agrícola, 3.2 más (36.4%) al uso público-urbano, 0.6 hm³ (6.8%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero, 0.4 (4.5%) para uso industrial y los 0.3 hm³ restantes (3.4%) para uso recreativo. Para la cuantificación de la extracción se consideró el caudal instantáneo de extracción y un régimen de operación en horas por día para los pozos censados.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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. El balance se definió en una superficie de 887 km². 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:

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

7.1 Entradas

Las entradas están integradas por la recarga natural (R_v) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita directamente sobre el valle y a lo largo de los escurrimientos, 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 riego agrícola (R_r) que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela, constituye otra fuente de recarga al acuífero.

Este volumen más el de las entradas por pérdidas en sistemas de agua potable y alcantarillado (R_{ap}) que también se incorporan al sistema acuífero, integran el componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y que debido a la baja permeabilidad de los materiales que conforman el suelo no se infiltran los retornos del riego, para fines del balance se considera despreciable la recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña. En la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas, la recarga de frente de montaña tiene dos componentes: el flujo subterráneo que proviene de las sierras que delimitan el valle, a través de fracturas y/o conductos de disolución, que se dirige hacia los sedimentos que rellenan la cuenca; y la infiltración en los cinturones de piedemonte.

A su vez, en estos últimos la recarga se efectúa por medio de la infiltración que se produce a lo largo de los arroyos que drenan las sierras y también de manera difusa. Aunque el valor de precipitación de 300 mm anuales invalida la aplicación de métodos empíricos (Turc, Coutagne) para estimar la evapotranspiración real, que permita a su vez el cálculo de la infiltración a través de un balance hidrometeorológico, en este tipo de condiciones climáticas la recarga difusa por infiltración y percolación de las escasas lluvias en la superficie del valle tiende a ser nula.

En la zona la recarga del acuífero que se efectúa en los piedemonte ocurre principalmente a lo largo del cauce de los efímeros escurrimientos de los arroyos que drenan las sierras.

La recarga vertical por lluvia 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:

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

Donde:

R_v= Recarga vertical;

E_h= Entradas por flujo horizontal;

S_h= Salidas por flujo horizontal;

B= Bombeo;

D_m= Descarga de manantiales;

$\Delta V(S)$ =Cambio en el volumen almacenado;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas 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 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 2008 (figura 5). Mediante la siguiente expresión:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

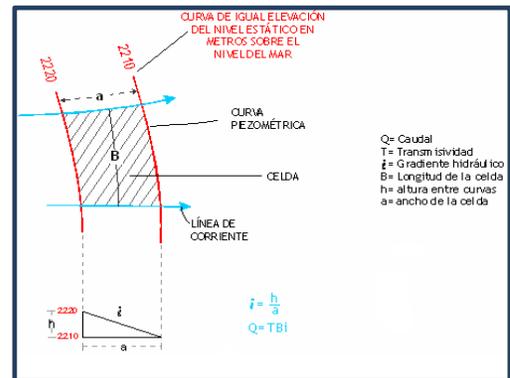
Donde:

Q= Gasto;

T= Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i= Gradiente hidráulico;



El flujo subterráneo calculado es de **10.1 hm³/año**, de los cuales 7.2 hm³/año corresponden a la zona de “Castaños” y 2.9 hm³/año a “Acámbaro”.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal (2009)

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	552	768	14	0.0181	0.0002	0.002783	0.1
E2	1119	2445	22	0.0089	0.0002	0.004370	0.1
E3	1017	1939	19	0.0098	0.001	0.019066	0.6
E4	2042	6214	61	0.0098	0.0005	0.030431	1.0
E5	2971	4805	32	0.0067	0.001	0.032346	1.0
E6	2636	5705	43	0.0076	0.0003	0.012986	0.4
E7	1347	5917	88	0.0148	0.0001	0.008785	0.3
E8	1402	7864	112	0.0143	0.0003	0.033655	1.1
E9	1357	5038	74	0.0147	0.0002	0.014850	0.5
E10	703	5063	144	0.0284	0.0001	0.014404	0.5
E11	1057	3849	37	0.0095	0.0003	0.010924	0.3
E12	597	2935	49	0.0168	0.0003	0.014749	0.5
E13	880	1766	20	0.0114	0.0005	0.010034	0.3
E14	686	1608	23	0.0146	0.0005	0.011720	0.4
E15	855	2340	548	0.2340	0.0001	0.005474	0.2
E16	2832	3263	23	0.0071	0.0001	0.002304	0.1
E17	3012	5778	38	0.0066	0.0001	0.003837	0.1
E18	3277	4730	29	0.0061	0.0001	0.002887	0.1
E19	2996	3013	20	0.0067	0.0001	0.002011	0.1
E20	3754	1127	6	0.0053	0.0001	0.000600	0.0
E21	4280	2998	14	0.0047	0.0001	0.001401	0.0
E22	311	2704	59	0.0220	0.00005	0.002968	0.1
E23	1883	3137	33	0.0106	0.0001	0.003332	0.1
E24	1848	2110	23	0.0108	0.0001	0.002284	0.1
E25	830	1937	47	0.0241	0.00005	0.002334	0.1
E26	1348	4179	62	0.0148	0.00005	0.003100	0.1
E27	863	2668	62	0.0232	0.00005	0.003092	0.1
E28	1941	4967	51	0.0103	0.0001	0.005118	0.2
E29	1250	7143	114	0.0160	0.00005	0.008000	0.3
E30	855	6570	154	0.0234	0.00006	0.009221	0.3
E31	1069	4633	87	0.0187	0.00006	0.005201	0.2
E32	2031	2262	22	0.0098	0.0001	0.002227	0.1
E33	1247	2522	40	0.0160	0.0001	0.004045	0.1
E34	1438	1318	18	0.0139	0.0001	0.001833	0.1
E35	1637	1982	24	0.0122	0.0001	0.002422	0.1
E36	3194	2480	16	0.0063	0.0001	0.001553	0.0
E37	1045	3381	65	0.0191	0.0001	0.006471	0.2
E38	956	2100	44	0.0209	0.0001	0.004393	0.1
E39	1639	1840	22	0.0122	0.0001	0.002245	0.1
TOTAL							10.1

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y un pequeño volumen son descargas por flujo subterráneo (Sh) y descarga de manantiales (Dm). No existen descargas por evapotranspiración ni por flujo base.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **8.8 hm³/año**.

7.2.2 Descarga a través de manantiales (Dm)

La descarga por manantiales es de **4.7 hm³/año**, de los cuales 3.1 hm³/año corresponden al subsistema norte para uso agrícola y los 1.6 hm³/año restante al subsistema centro-sur para uso recreativo.

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 (figura 6), en la que se puede observar que la única salida por flujo subterráneo se presenta en la porción norte del acuífero, hacia el acuífero vecino Monclova.

El valor estimado es de **0.4 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal (2009)

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	1497	3788	25	0.0067	0.0005	0.012652	0.4
TOTAL							0.4

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

De acuerdo al análisis de la variación del nivel estático respecto al tiempo, en la configuración de la evolución para el periodo 2003-2009, mostrada en la figura 7. Se determinó que ha existido una recuperación del nivel estático en la zona de estudio de 0.70 m/año en Castaños y de 0.50 m/año en Acámbaro.

El cambio de almacenamiento se obtuvo multiplicando el área por la evolución anual y por el coeficiente de almacenamiento (0.01) y se obtuvo un cambio de almacenamiento de 1.8 hm³/año para Castaños y de 3.2 hm³/año para Acámbaro, para toda la zona el valor es de **5.0 hm³/año**.

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

Donde:

ΔVS = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

A= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km^2);

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

Solución a la ecuación de balance

Para la parte norte denominada Castaños, las entradas subterráneas fueron de $7.0 \text{ hm}^3/\text{año}$, la extracción por bombeo alcanzó $5.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ la descarga por manantiales de $3.1 \text{ hm}^3/\text{año}$, las salidas subterráneas ascendieron a $0.40 \text{ hm}^3/\text{año}$ y el cambio de almacenamiento considerado fue de $1.8 \text{ hm}^3/\text{año}$.

De la ecuación de balance se deduce que la infiltración vertical asciende a $3.3 \text{ hm}^3/\text{año}$. Para la parte central denominada Acámbaro, las entradas subterráneas fueron de $2.8 \text{ hm}^3/\text{año}$, la extracción por bombeo alcanzó $3.8 \text{ hm}^3/\text{año}$; para esta zona la descarga por manantiales es de $1.6 \text{ hm}^3/\text{año}$ y el cambio de almacenamiento considerado fue de $3.2 \text{ hm}^3/\text{año}$.

De la ecuación de balance se deduce que la infiltración vertical asciende a $5.8 \text{ hm}^3/\text{año}$.

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:

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

$$R_v = 0.40 + 8.8 + 4.7 + 5.0 - 10.1$$

$$R_v = 8.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total (R) está definida por la suma de las componentes de recarga:

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 8.8 + 10.1$$

$$R = 18.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **18.9 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 **DNC = 5.1 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 **16,756,764 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 agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 18.9 - 5.1 - 16.756764 \\ \text{DMA} &= -2.956764 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,956,764 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2002. Estudio geomorfológico estructural y de hidrogeología cárstica en el acuífero de Monclova, Estado de Coah., elaborado por la empresa SIMA.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1980. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Zona de Castaños, estado de Coahuila. Elaborado por la empresa Hidrogeología, S.A.