



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE SAN MARCOS (0527),
ESTADO DE COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1.	GENERALIDADES	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación Administrativa del acuífero.....	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3.	FISIOGRAFÍA	5
3.1	Provincia Fisiográfica	5
3.2	Clima.....	6
3.3	Hidrografía	7
3.4	Geomorfología.....	7
4.	GEOLOGÍA	8
4.1	Estratigrafía	9
4.2	Geología estructural.....	15
4.3	Geología del subsuelo.....	16
5.	HIDROGEOLOGÍA	17
5.1	Tipo de acuífero	17
5.2	Parámetros hidráulicos.....	18
5.3	Piezometría	18
5.4	Comportamiento hidráulico.....	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
7.1	Entradas.....	20
7.1.1.	Recarga vertical (Rv).....	20
7.2	Salidas.....	25
7.1.2.	Bombeo (B).....	25
8.	DISPONIBILIDAD	25
8.1	Recarga total media anual (R).....	26
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3	Volumen de extracción de agua subterránea (VEAS)	26
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	27
9.	BIBLIOGRAFÍA	28

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 (REPDA).

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 Valle de San Marcos, definido con la clave 0527 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-sur del estado de Coahuila, entre los paralelos 25° 57' a 26° 38' de latitud norte y los meridianos a 101° 24' a 102° 6' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 2,576 km². Limita al norte con el acuífero Cuatrociénegas, al sur con La Paila, al este colinda con los acuíferos Castaños y Paredón y al oeste con el acuífero El Hundido, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

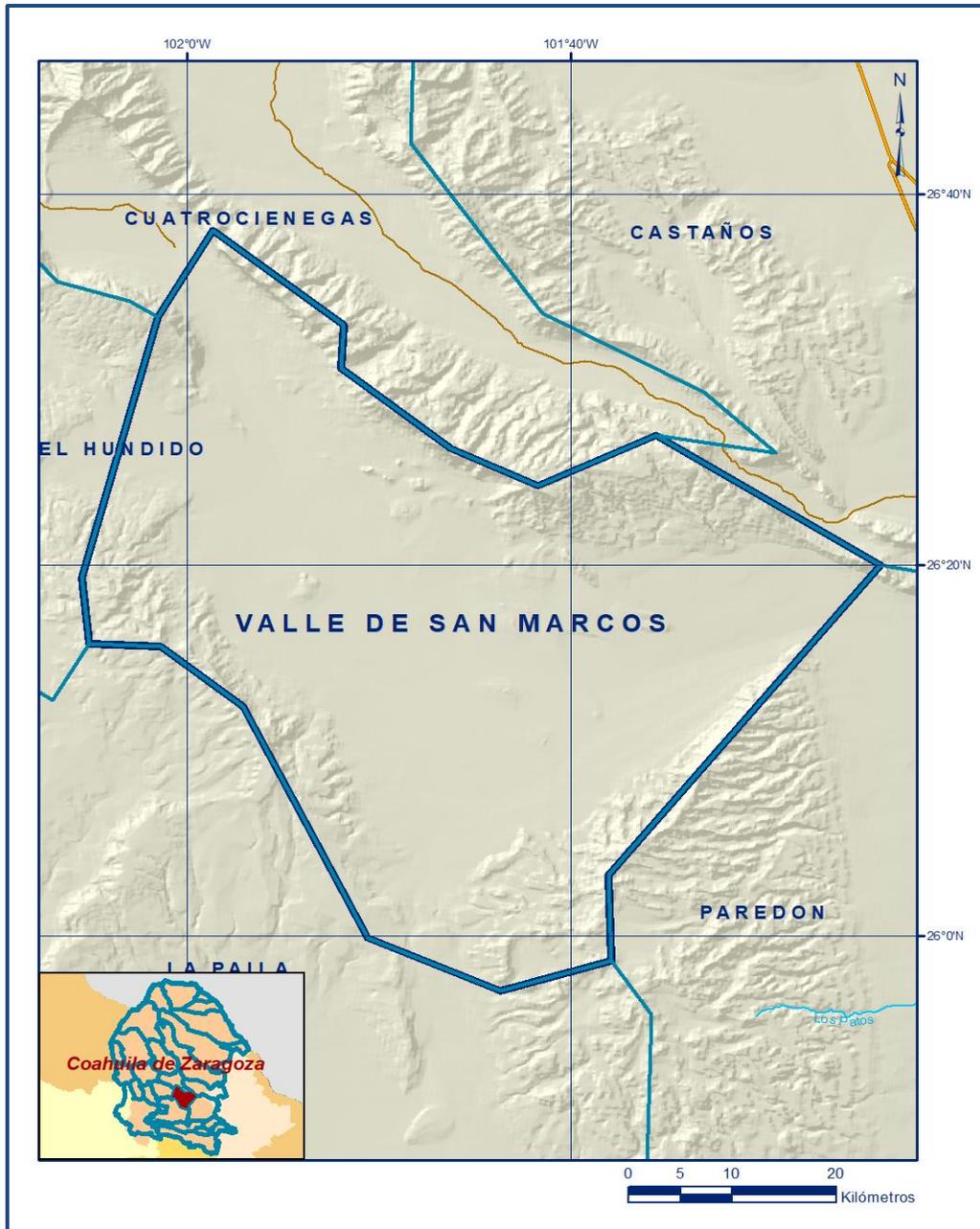


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente, el acuífero se localiza en porciones de los municipios Cuatrociénegas, Ramos Arizpe y Parras de La Fuente; pequeñas áreas pertenecen a los municipios Castaños y San Pedro de Las Colonias.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0527 VALLE DE SAN MARCOS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	1	29.3	26	33	23.4
2	101	58	38.6	26	38	3.5
3	101	51	49.2	26	32	56.0
4	101	51	59.4	26	30	38.1
5	101	46	15.2	26	26	16.6
6	101	41	43.6	26	24	16.0
7	101	35	34.0	26	27	0.8
8	101	23	55.0	26	20	11
9	101	38	4.7	26	3	17.9
10	101	37	55.2	25	58	39.3
11	101	43	40.5	25	57	2.2
12	101	50	34.0	25	59	54.1
13	101	57	4.3	26	12	23.5
14	102	1	21.0	26	15	36.2
15	102	5	3.2	26	15	44.8
16	102	5	26.2	26	19	19.6
1	102	1	29.3	26	33	23.4

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Valle de San Marcos pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. Una pequeña porción al oeste del acuífero se encuentra sujeta a las disposiciones del “Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 17 de abril de 1965; esta veda se clasifica como de tipo III, la cual permite extracciones limitadas para usos doméstico, industrial, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El principal usuario es el público-urbano. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS SANTA FE DEL PINO, HÉRCULES, LAGUNA EL GUAJE, LAGUNA EL COYOTE, ACATITA, LAS DELICIAS, SERRANÍA DEL BURRO Y VALLE DE SAN MARCOS, EN EL ESTADO DE COAHUILA; realizado en el año 2010 para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) mediante convenio con el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, conocer su funcionamiento hidrodinámico y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea.

Como parte de sus actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos. 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. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, la porción suroeste pertenece a la Subprovincia La Paila y la porción nororiental en la Subprovincia Sierras y Llanuras del Norte.

La Sierra Madre Oriental, corre en sentido paralelo a la Costa del Golfo de México desde la frontera norte del país hasta sus límites con el Eje Neovolcánico. A la altura de Monterrey, N. L., unas de sus ramas tuercen abruptamente al oeste para extenderse hasta la Sierra Madre Occidental; la otra continúa hacia el norte para terminar en la región de Big Bend, Texas.

Está integrada principalmente por sedimentos calcáreos del Cretácico y Jurásico que se encuentran plegados, formando valles estructurales (Manuel Álvarez Jr.) en los sinclinales y serranías en los anticlinales cuando las formaciones son resistentes a la erosión, pero cuando estos últimos dejan al descubierto un núcleo constituido por rocas menos resistentes, entonces se forman valles en su centro. Debido a la intensidad de los plegamientos, la topografía es sumamente accidentada, ofreciendo perfiles típicamente aserrados.

La Subprovincia Sierra de la Paila, consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, con bajadas. En su parte occidental se tiene el bolsón conocido como Valle Buenavista, limitado al oeste por la sierra de Tlahualilo y al este con las elevaciones llamadas de Albardienta, que alcanza 1,800 msnm. En el oriente se tiene la sierra de La Paila de estructura cómica y flancos suaves, excepto en el noroeste, donde es afectado por un fallamiento. Los bolsones con elevaciones a menos de 1000 msnm, llamados valles de El Sobaco, El Hundido, San Marcos y Los Pinos, se localizan al norte de la subprovincia. En esta subprovincia predominan las rocas calizas en todas las sierras limítrofes, excepto en el valle de San Marcos y Los Pinos, en los que dominan las rocas volcánicas basálticas.

La Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses, con topofomas de Sierras y Valles, está constituida por sierras de caliza plegadas, la mayoría orientadas de noroeste a sureste, escarpadas y pequeñas. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con los núcleos erosionados, alcanzando altitudes de 1,000 a 2,000 msnm. Entre estas sierras, constituidas por calizas y en menor proporción por lutitas y yesos, se extienden llanuras aluviales.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la zona que cubre el acuífero impera un clima clasificado como BWhw, que corresponde a un tipo muy seco, semicálido, con lluvias en verano que alcanzan entre el 5 y el 10.2% de la precipitación anual. Hacia las sierras San Marcos y Pinos, ubicadas al norte, y la Sierra e La Paila al sureste, el clima cambia al tipo BSokw y BS1kw que se clasifica como seco y semiseco, templado, con el mismo porcentaje de lluvias en verano entre 5 y 10.2, respecto de la precipitación anual.

Los valores promedio anuales de precipitación y temperatura varían con la elevación topográfica, desde las planicies hacia las sierras; para el caso de la lluvia de 200 a 400 mm y para la temperatura de 18 a 22° C. Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de isoyetas e isotermas del INEGI. De acuerdo con estos datos, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **300 mm y 19 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,025 mm anuales**.

3.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 35 denominada Mapimí, Cuenca del Valle del Hundido. La región del Bolsón de Mapimí no presenta corrientes o almacenamientos perennes, se caracteriza por su aridez y la ausencia casi total de elevaciones importantes. Todas las cuencas que la conforman son endorreicas, sus cauces son temporales que sólo conducen agua cuando se presentan lluvias extraordinarias, para después. En toda la región los índices de escurrimiento superficial son muy bajos, menores a los 10 mm anuales que, por supuesto, van a dar al fondo de los bolsones, en donde se llegan a formar lagunas intermitentes. La Cuenca Valle del Hundido (35A), ubicada totalmente dentro del estado, tiene una superficie de 7,775.55 km². Abarca un conjunto de llanuras desérticas (bolsones) los cuales están limitados por parteaguas cuya elevación fluctúan entre los 1,100 y 1,800 msnm. Los nombres de los valles son El Hundido, El Sobaco y Buenavista. Tiene como subcuencas intermedias: El Hundido (35AA) y El Sobaco (35AB).

3.4 Geomorfología

En la zona comprendida por el acuífero, se distinguen 3 principales unidades geomorfológicas: Sierras Anticlinales, Valle y Lomeríos.

Sierras Anticlinales. Corresponden a 3 grandes sierras formadas por rocas calizas del Cretácico que limitan al Valle de San Marcos: San Marcos y Pinos, La Paila y Los Alamitos. La Sierra de San Marcos y Pinos localizada al norte del acuífero, tiene una forma alargada que se orienta noroeste-sureste, con una longitud de 60 km y un ancho de 14 km. Se eleva a 2,500 msnm y 1,300 m con respecto del valle. La Sierra Los Alamitos localizada al suroeste del acuífero, se eleva a 1,900 msnm y a 700 m sobre el valle. La Sierra La Paila, localizada al sureste del acuífero, tiene una forma alargada que se orienta norte-sur con un buzamiento hacia el norte.

Se eleva a 2,200 msnm en sus partes más altas, mientras que el Valle de San Marcos se encuentra a alrededor de 1,200 msnm. Los flancos de estas sierras que limitan con el Valle de San Marcos presentan arroyos perpendiculares, que se pierden en los abanicos aluviales o al llegar al valle.

Valle. Corresponde a un amplio valle de 45 km de longitud de norte a sur y de 15 a 50 km de este a oeste. Presenta forma plana con cierta inclinación; en su porción sur se eleva a 1,300 msnm y desciende paulatinamente hacia el norte hasta 1,000 msnm.

Lomeríos. Se localizan en el centro del valle y están conformados por los extensos afloramientos de basaltos que forman lomeríos de suave pendiente que se elevan entre 50 y 100 m sobre el valle.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales, así como ígneas intrusivas y extrusivas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Cretácico (Mesozoico) al Reciente. La distribución de las diferentes unidades litológicas se presenta en la figura 2.

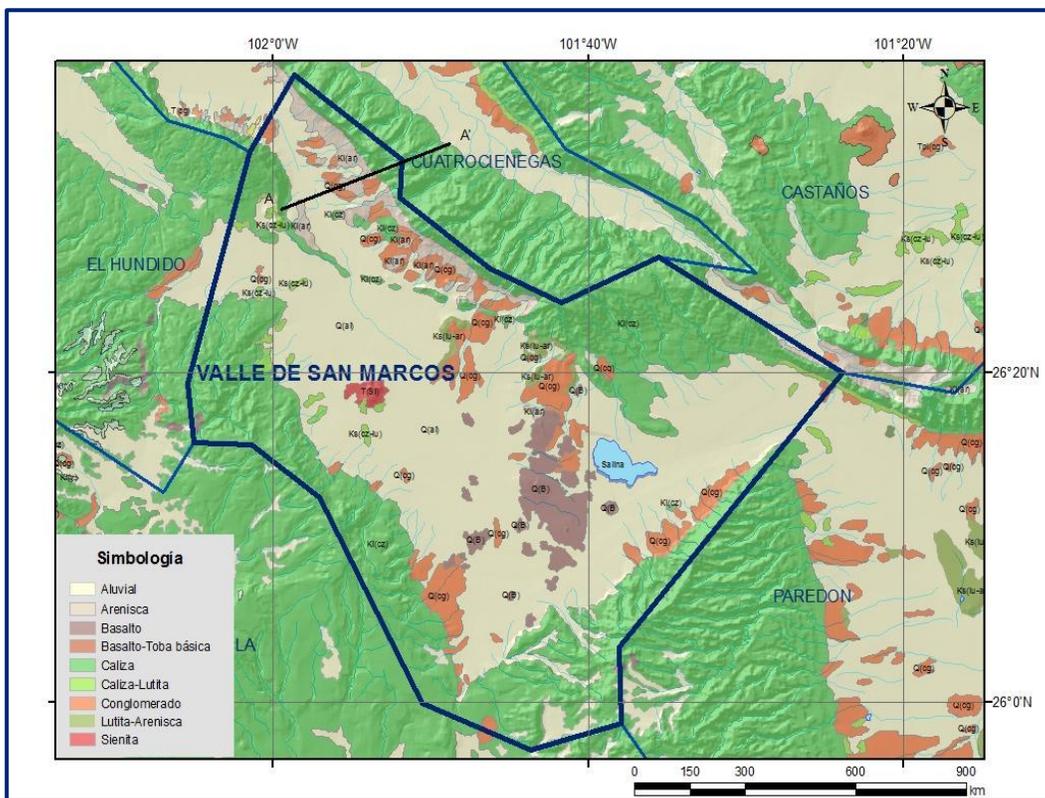


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica de la región incluye a formaciones del Cretácico Inferior (San Marcos, La Virgen, Cupido, La Peña, Acatita, Treviño, Del Río y Buda), del Cretácico Superior (Indidura), así como sedimentos continentales del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario (Conglomerados y aluviones). Complementan la columna, rocas ígneas principalmente extrusivas (basaltos) y en menor proporción intrusivas. A continuación, se hace una breve descripción de las unidades geológicas que se encuentran en el área, de la más antigua a la más reciente:

Cretácico Inferior

Formación San Marcos

Corresponde a una arenisca (arcosa) que aflora sobre los flancos de la Sierra San Marcos y Pinos, donde se le ha medido un espesor de 744 m. Se divide en 3 miembros:

El inferior de 80 m, conglomerático y de color rojizo; el miembro intermedio con 510 m de espesor de arcosas de estratificación gruesa y; el miembro superior de 154 m de una arcosa conglomerática de estratificación media. Se le asigna una edad correspondiente al Neocomiano.

Formación La Virgen

El nombre Yesos La Virgen fue dado por Humphrey y Díaz en 1956 para designar afloramientos de evaporitas en el lado poniente del potrero de La Virgen, localizado a 10 km al noreste de Cuatrociénegas, Coahuila. Litológicamente está constituida por una secuencia rítmica de tres unidades, para la que se ha reportado un espesor conjunto de 449 hasta 535 m. La unidad inferior está constituida por una alternancia de yesos y calizas con textura fina y fragmentos de conchas, su espesor es de 162 m. La unidad intermedia se constituye por una intercalación de calizas fosilíferas de textura gruesa y horizontes de yesos, su espesor es de 43 m. El yeso constituye la unidad superior y está sobreyacida por un contacto de tipo transicional con la Formación Cupido.

Formación Cupido

La Formación Cupido es una unidad geológica común en el norte de México que, junto con la Formación Aurora, constituyen los núcleos de las principales sierras. Esta formación fue propuesta por Imlay en 1937 para describir afloramientos a lo largo del Cañón del Mimbres en la Sierra de Parras, Coahuila.

Posteriormente Humphrey en 1949 redefinió a la Formación Cupido incluyendo el miembro de caliza inferior. Presenta un espesor variable. Hacia la Cuenca de Sabinas se le han llegado a medir 1,000 m. En la zona y de acuerdo a isopacas publicadas por Charleston, 1966, el espesor es de alrededor de 200 m. En trabajos de Pemex, la describen como Formación Tamaulipas Inferior.

Término definido para una unidad de calizas de color gris y estratificación gruesa, delgada y media, que se presenta en la porción media de la Sierra de Parras. Sobreyace concordantemente a la formación anterior y está constituida principalmente por tres facies diferentes: 1) Facies arrecifales con abundantes monopléuridos, requiénidos, caprínidos, ostras y fragmentos de corales y codiáceas, que afloran preferentemente en la parte norte de la Curvatura de Monterrey; 2) Facies de pre-arrecife, constituidas por brechas derivadas de los arrecifes, que bordean las facies arrecifales en la parte norte y noroccidental de la citada megaestructura, y 3) Facies de cuenca, representadas por calizas de grano fino de estratificación media a gruesa, con abundantes nódulos de pedernal, que aflora en la parte sur de la megaestructura.

El espesor de las facies pre-arrecifales es mayor en las facies arrecifales y menor en las facies de cuenca. De acuerdo con su contenido de (miliólidos) y por su posición estratigráfica entre las formaciones Taraises y La Peña, se le asigna una edad correspondiente al Hauteriviano.

Formación La Peña

Imlay (1936) denominó Formación La Peña a la unidad cuya base está constituida básicamente por calizas, ubicadas entre la Formación Parritas y la Formación Aurora, a las que cubría y subyacía respectivamente. Su sección tipo correspondía al flanco norte de la Sierra de Taraises, Coah. Posteriormente, Humphrey (1950, p. 103) redefinió la Formación La Peña, eliminando el miembro calcáreo inferior. La Formación La Peña tiene una amplia distribución en todo el noreste de México.

De acuerdo a la literatura, afloramientos de esta unidad se han medido en las sierras del Corazón (208 m), de las Iglesias (149 m), de Puerto Blanco (122 m), de la Candelaria (11 m), de La Mula (62 m), del Carmen (158 m), La Encantada (50 m), Rincón de María (80 m), San Ambrosio (74 m) y Santa Fe del Pino (50 m), entre otras.

Consiste básicamente de lutita físil negra, que alterna con calizas de estratificación delgada y media de color gris oscuro a negro. En algunas localidades presenta delgados horizontes limolíticos o arenosos, así como concreciones calcáreas de 10 a 30 cm, las cuales frecuentemente tienen amonitas en su núcleo. La edad de la Formación La Peña corresponde al Aptiano Tardío, como lo demuestra la presencia de abundantes amonitas de los géneros *Dufrenoyia sp.* y *Parahoplites sp.* El medio sedimentario en el cual se llevó a cabo la depositación de esta formación, correspondió a un mar abierto en una zona relativamente profunda, cuando menos debajo de la zona de agitación producida por el oleaje o corrientes superficiales. La coloración negra de las lutitas con abundante materia orgánica y en ocasiones la presencia de pirita, indica que la sedimentación se efectuó en condiciones reductoras y sin la influencia de procesos mecánicos.

Su contacto inferior con la Formación Tamaulipas Inferior o con la Formación Cupido es nítido y concordante; del mismo modo subyace a la Formación Tamaulipas Superior (Aurora), en donde la zona de contacto está definida por el cambio de una sedimentación calcáreo-arcillosa a una secuencia netamente carbonatada.

Formación Acatita (Aurora)

Corresponde a una facies de la Formación Aurora que aflora en la porción centro-sur del estado de Coahuila y que fue denominada por Humphrey, 1956. En esta facies, las típicas calizas de la Formación Aurora pasan a estratos de calizas, calizas dolomíticas, yesos y anhidritas, siendo los yesos lo que caracterizan a esta facies. Pertenece al Albiano. Su distribución es amplia, ya que generalmente se encuentra formando las principales masas montañosas de las sierras de Alamitos, San Marcos y La Paila. Se le ha asignado una edad correspondiente al Albiano.

Formación Aurora

En algunos trabajos, esta Formación se describe como Tamaulipas Superior y es también equivalente a la Formación Acatita.

La distribución de esta unidad es amplia, ya que generalmente se encuentra formando las principales masas montañosas de la región, por ejemplo, las Sierra del Pino y El Fuste (541 m). Consiste básicamente de calizas con textura mudstone a wackstone de color gris, dispuestas en estratos gruesos y medios, aunque también presenta estratos delgados y masivos. Contiene, aunque no de forma abundante, pedernal, cristales de pirita y nódulos ferruginosos.

Su fauna hacia la parte sur consiste principalmente de microorganismos planctónicos como globigerinaceas y tintínidos; esporádicamente presenta equinodermos, pelecípodos y bioclastos. Hacia la parte norte, esta unidad cambia de facies con las Formaciones Del Carmen y Glen Rose.

Su posición estratigráfica sobre la Formación La Peña del Aptiano Tardío y bajo la Formación Kiamichi del Albiano Tardío, la sitúa en el Albiano Medio, que se confirma con la presencia de algunos microfósiles como *Colomiella recta* y *Colomiella mexicana*. Por su composición litológica y contenido faunístico, se considera que esta Formación se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas y baja energía.

Formación Treviño

R. Garza, 1973, propuso el nombre de Formación Treviño para una secuencia calcárea que aflora en el cañón del mismo nombre, en la Sierra de La Paila. Consiste de calizas de miliólidos de color gris en estratos gruesos, que descansa sobre dolomitas de la Formación Acatita. Su edad corresponde al Albiano Superior.

Formación Del Río

Esta unidad inicialmente fue llamada "Grayson" por Cragin en 1884. Posteriormente Hill y Vaughan (en Adkins, 1932) utilizaron el término Formación Del Río que en la actualidad está más generalizado, designando como localidad tipo a la ciudad del mismo nombre que se encuentra en el Condado de Valverde, Texas.

Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y café amarillento. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris. Contiene foraminíferos de la Familia *Globigerinacea*, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano.

La Formación del Río es una unidad importante del Noreste de México y sur de Texas, debido a su amplia distribución, estabilidad litológica y posición estratigráfica. Su presencia marca el límite Albiano-Cenomaniano. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta y durante una etapa regional transgresiva. Debido a su carácter arcilloso, la Formación Del Río generalmente está cubierta con aluvión.

Presenta espesor que va de 4 a 211 m. Un aspecto notable de esta unidad, es su marcado engrosamiento de espesor en la porción sur del acuífero, principalmente hacia la Sierra del Pino.

A 45 km al oeste del Ejido Piedritas, consiste de 10 m de lutitas y calizas arcillosas de lajeadas a laminares, de color gris verdoso a verde amarillento, con esporádicas interestratificaciones de areniscas oxidadas y concreciones ferruginosas. En ocasiones presenta cambios de coloración en las lutitas y calizas arcillosas debidos a procesos de alteración.

Cretácico Medio - Superior

Formación Buda

El nombre de Formación Buda fue usado primeramente por Vaughan a sugestión de Hill (1900) para substituir al término “Caliza Sola Creek” introducido originalmente en 1889. Esta unidad es de amplia distribución en el noroeste de México. Se ha medido en la sierra El Pino un espesor de 103 m. En general se observa que esta unidad conserva su espesor más o menos constante hacia el norte, mientras que hacia el sur sufre un fuerte engrosamiento.

Consiste en general de calizas de textura calcarenita color gris claro, de estratificación delgada a media, con capas delgadas intercaladas de lutita de color gris claro. Presenta foraminíferos plantónicos, huellas de amonitas y bioclastos. En menor proporción contiene minerales ferruginosos y nódulos de pedernal.

La edad de esta unidad ha sido determinada con base en varias especies de *Budaiceras sp.* y *mariella sp.*, entre otras, las que le asignan una edad Cenomaniano Temprano. De acuerdo a su litología y contenido faunístico, se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta relativamente profunda y de baja energía. Por su parte la presencia de sulfuros de fierro y nódulos de pedernal indican condiciones reductoras.

Formación Indidura

Esta formación fue definida por Kelly, 1936 en la región de Acatita-Delicias, Coahuila. Consiste de calizas oscuras, laminadas, intercaladas con lutitas yesíferas de color rosa con estratificación indefinida.

Presenta algunos fósiles equinoides y moluscos.

Paleógeno-Neógeno

Conglomerado

Corresponde a depósitos continentales, principalmente conglomerados poco cementados, producto del transporte y sedimentación de detritos erosionados de las partes altas y generalmente depositados en los pies de monte de las sierras. Se le define como Conglomerado Ahuichila y es equivalente al Conglomerado Sabinas del norte del Estado.

El Conglomerado Sabinas fue definido en la Región Carbonífera de Sabinas, para referirse a los depósitos conglomeráticos (Humphrey, 1956), que afloran a lo largo del Río Sabinas y en las partes bajas de los flancos de anticlinales. 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 que se ha calculado es de 20 a 50 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. Hacia el centro y sur del Estado, se le denomina Ahuichila

Rocas ígneas extrusivas

Están representadas por extensos afloramientos de basaltos que se presentan en la porción central del valle de San Marcos. Se distinguen algunos conos volcánicos y en algunos sitios muestran el flujo de las corrientes de lava.

Rocas ígneas intrusivas

En la porción centro-poniente del valle, se encuentra un afloramiento de granito y diorita, que intrusionó y levantó rocas calcáreas del Cretácico. Se le considera una edad del Paleógeno-Neógeno.

Cuaternario

Los depósitos cuaternarios se encuentran distribuidos extensamente en gran parte del acuífero. Consisten en aluviones depositados en piedemonte y en planicies de inundación. Los primeros son principalmente conglomerados y arenas y en las planicies de inundación están representados por limos, arcillas y evaporitas.

Se encuentran ocupando las partes bajas, los flancos de las sierras y los valles. Solamente hacia los cauces de los arroyos que descienden de las sierras, se acumulan espesores relativamente mayores de aluvión, principalmente de tipo fluvial.

Hacia las lagunas intermitentes que se forman en la parte baja de las planicies predominan sedimentos finos intercalados con evaporitas.

4.2 Geología estructural

A nivel regional se han identificado tres eventos de deformación: el primero en el Paleozoico, que afectó a rocas del Paleozoico Inferior y a la secuencia vulcano-sedimentaria de la Serie Delicias, del Paleozoico Superior.

Esta deformación probablemente sea producto de la Orogenia Ouachita-Marathon-Apalachiana, que se presentó en Norteamérica durante este tiempo con la clausura del Proto-Océano Atlántico (Campa y Coney, 1981).

El segundo episodio ocurrió durante el Jurásico con la formación de rifts continentales que controlaron la sedimentación y la transgresión marina de esa época hasta el Cretácico Inferior. Destacan los elementos Isla de Coahuila, Península de Tamaulipas y como elemento negativo el Golfo de Sabinas.

El tercero se presentó desde finales del Cretácico al Eoceno con la Orogenia Laramide, la cual fue producto de la subducción y rápido desplazamiento de la Placa Norteamericana hacia el oeste y la Placa Farallón hacia el este. Este evento origina pliegues anticlinales y sinclinales asimétricos y en forma paralela se desarrollaron cabalgaduras con orientación NE – SW y NW –SE.

Estos pliegues y cabalgaduras rodean la Isla de Coahuila y tienen sus vergencias hacia este elemento rígido, provocando apilamiento de sedimentos debido a la plasticidad de los yesos de la Formación Acatita; al ocurrir la compresión, las capas más resistentes y compactas (Formación Treviño), se deslizaron sobre estos yesos, produciéndose cabalgaduras, anticlinales y sinclinales cerrados.

Dentro de los límites del acuífero, se encuentran pliegues y fallas. Los principales pliegues corresponden a anticlinales y sinclinales en las rocas sedimentarias del Cretácico. Se encuentran tanto pliegues simétricos como asimétricos y en muchas ocasiones recumbentes, afectados por numerosas fallas, tanto normales como inversas. La mayoría de los anticlinales presentan un alineamiento de sus ejes en una dirección NNW-SSE.

Casi todos ellos son bastante estrechos y alargados, agrupándose en una franja que parece prolongarse hasta el Río Bravo en el norte, donde desaparecen debido a que se encuentran cubiertos por derrames volcánicos. Entre los más importantes destacan los que constituyen las sierras San Marcos y Pinos, Los Alamitos y La Paila.

Las fallas normales se identifican a través de varios criterios, tales como alineamientos, truncamiento de estructuras, escarpes y cambios en la red del drenaje. La mayor parte de las fallas y plegamientos poseen un alineamiento general NW-SE. Existe una falla recumbente en el extremo noroeste del acuífero (Falla de San Marcos), la cual continúa inferida hasta el oriente del valle.

Una excepción en la orientación de fallas y plegamientos, se presenta en la Sierra La Paila, donde un anticlinal simétrico forma su cresta la cual se encuentra muy cercana al flanco poniente, que constituye el límite del acuífero. Paralelo al eje del anticlinal mencionado, se encuentra una falla de tipo normal de aproximadamente 35 km de longitud.

4.3 Geología del subsuelo

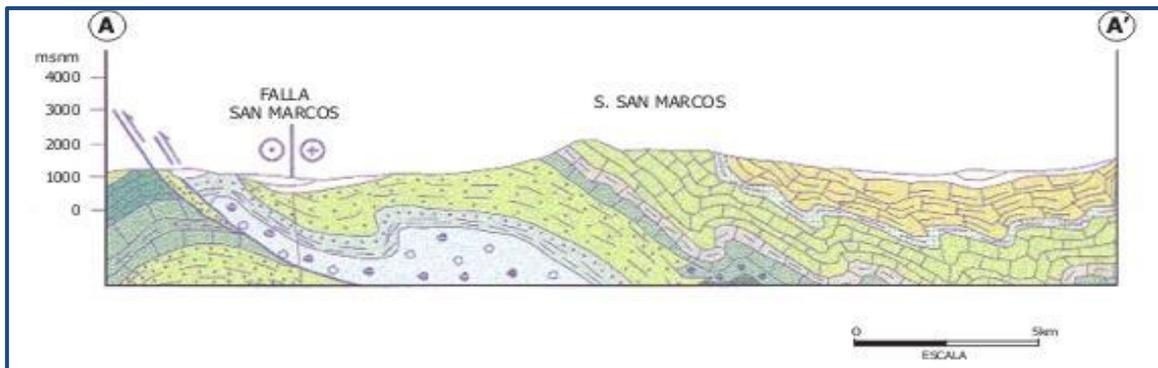
De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las extensas planicies y los piedemonte.

Hacia la parte baja del acuífero, donde se localizan zonas de inundación que forman lagunas, predominan sedimentos predominan los depósitos lacustres y eólicos intercalados con evaporitas. La porción inferior está conformada por areniscas, calizas y rocas volcánicas: tobas y basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Buda, Aurora (Tamaulipas Superior) y Cupido, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas, al desaparecer el fracturamiento y por las rocas ígneas que presentan un bajo grado de metamorfismo.

A mayor profundidad las barreras al flujo subterráneo y el basamento están representadas por las lutitas que constituyen las formaciones Del Río y La Peña, que sobreyacen a las calizas.

Ocasionalmente las calizas presentan intercalaciones de horizontes de yeso, que provocan alto contenido de sales en el agua subterránea, lo que restringe su utilización. En la figura 3 se presenta una sección geológica esquemática, ubicada en la porción noroccidental del acuífero, que muestra la disposición de las unidades geológicas del subsuelo.



Fuente: Carta Geológico-Minera Monclova G14-4 Coahuila y Nuevo León. SGM 2008. Escala 1:250,000

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El subsuelo del valle se encuentra constituido por arcillas, gravas y arenas de permeabilidad variable, generalmente baja, que permiten la formación de un acuífero con nivel de saturación profundo. El acuífero se recarga a partir de la infiltración del agua de lluvia, tanto sobre los materiales ubicados al pie de las sierras como en el valle. El agua subterránea es escasa y en general presenta alta salinidad, debido a la escasa precipitación pluvial y la elevada evaporación en las partes bajas de los valles.

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un **acuífero tipo libre** heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar decenas de metros en el centro del valle.

Debido a la existencia de sedimentos arcillosos en la parte más baja donde se ubican las lagunas intermitentes, se presentan condiciones locales de semiconfinamiento. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas entre las que destacan calizas, areniscas, tobas y en menor proporción basaltos, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las rocas calizas de las formaciones Buda, Aurora (Tamaulipas Superior) y Cupido constituyen horizontes acuíferos que no han sido explorados en la zona pero que en otras regiones han mostrado un potencial favorable. Debido a que estas formaciones se encuentran sobreyacidas por lutitas o secuencias de lutitas y areniscas, presentan condiciones de confinamiento.

5.2 Parámetros hidráulicos

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero. Los escasos aprovechamientos ubicados en la superficie que cubre el acuífero, de acuerdo con el estudio realizado en el año 2010, no tienen las características y equipo adecuados para la ejecución de dichas pruebas. Solo se encontró un sitio donde fue posible realizar una prueba, donde el resultado obtenido fue **de $0.18 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada durante el estudio realizado en el año 2010. Sólo fue posible obtener los valores de profundidad al nivel estático en un número escaso de aprovechamientos dispersos en el acuífero.

5.4 Comportamiento hidráulico

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2010, se tomaron 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, As, coliformes fecales y totales, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos en 3 de las 5 muestras sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores extremos que varían de 688 a 2,304 ppm, que sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano. De acuerdo con los iones dominantes, en dos de las 5 muestras, se presenta agua de la familia cálcico-sulfatada que se relaciona con la presencia de yesos. En el resto de las muestras, es de tipo mixta, por no predominar iones en específico.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), 3 muestras se clasifican como C_3S_1 , que representa contenido alto de sales y baja proporción de sodio intercambiable, que pueden utilizarse para riego agrícola bajo ciertas restricciones. Las dos muestras restantes se clasifican como C_4-S_1 , C_4-S_2 , las cuales no son recomendables para su uso en agricultura, debido a su alta concentración de sales.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 14 aprovechamientos, todos ellos pozos, de los cuales 10 están activos y 4 inactivos. El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.1 hm³ anuales**, 0.09 hm³ (90%) se destina al uso público-urbano para el abastecimiento de agua a las comunidades y 0.01 hm³ (10%) para uso doméstico.

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. 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 quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento del acuífero:

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

7.1 Entradas

Las entradas al acuífero están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero.

La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo realizados para el estudio de 2010, se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolar para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 2576 km² del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

V_{LL}= Volumen de lluvia;

V_{ETR}= Volumen evapotranspirado;

V_{ESC}= Volumen escurrido;

V_{INF}= Volumen infiltrado;

Por lo tanto despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)}$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (2576 km²) por la lámina de precipitación media anual (300 mm):

$$\mathbf{V_{LL} = 2576 \text{ km}^2 (0.300 \text{ m}) = 772.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 300 mm y temperatura de 19° C.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

COUTAGNE	$\text{ETR} = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

La fórmula sólo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: $\text{ETR} = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 274 mm anuales.

Si consideramos el valor de la ETR obtenida (274 mm anuales), el volumen de la ETR es:

$$\mathbf{V_{ETR} = 2576 \text{ km}^2 (0.274 \text{ m}) = 705.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Por otra parte, el volumen de escurrimiento es igual al volumen llovido por el coeficiente de escurrimiento del terreno en la zona. Por ello, para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. Para determinar el valor de escurrimiento, la norma establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA} * \text{ÁREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

El coeficiente de escurrimiento (C_e) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo. En el caso de que en la cuenca donde se ubica el acuífero, existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K , el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000;$$

$$\text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$$

Donde:

P= Precipitación anual;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Camino	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1, 000,000, para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Xerosol háplico, Litosol, Regosol calcárico, Yermosol calcárico y Yermosol háplico (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 90.9% de la superficie del acuífero está cubierta por matorral, en la que el suelo es tipo B, cubierta entre el 50 y 75%, por lo que $K = 0.24$; 1% del acuífero presenta pastizal, suelo tipo C, con cobertura del 50 al 75%, por lo que $K = 0.30$; el chaparral se presenta en 7% de la superficie del acuífero, suelo tipo C, con cobertura del 50 al 75%, por lo que $K = 0.30$; el área agrícola con 0.2% de la superficie del acuífero, suelo tipo C, por lo que $K = 0.30$; finalmente, un 0.9% del área del acuífero presenta bosque de pino, tipo C, con cobertura entre el 25 y 50%, por lo que $K = 0.28$.

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.909) + 0.24 (0.01) + 0.30 (0.07) + 0.30 (0.002) + 0.28 (0.009) = 0.25$$

De esta manera, el valor de K es igual a **0.25**, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.0729$$

$$Ce = 0.0729$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$V_{ESC} = 0.0729 (772.8 \text{ hm}^3) = 56.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}$$

$$V_{INF} = 772.8 - 705.8 - 56.3$$

$$V_{INF} = 10.7 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 772.8 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.014.

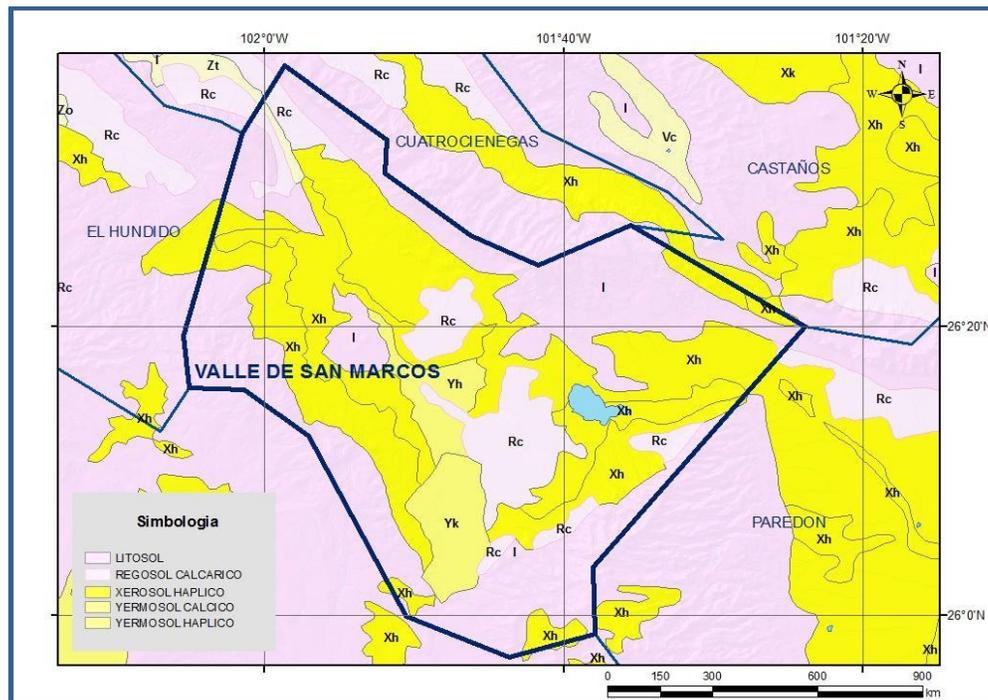


Figura 3. Tipo de suelo

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $10.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los $2,576 \text{ km}^2$ de superficie del acuífero.

Por lo que la **$R_v = 10.7 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

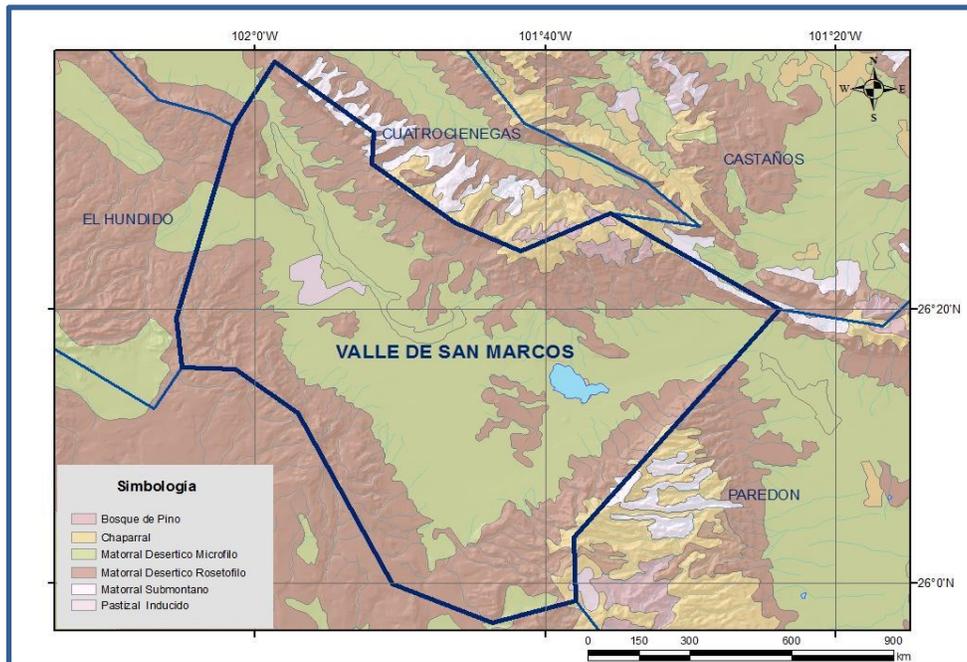


Figura 4. Uso de suelo

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos.

7.1.2. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es redondeado a un decimal es de **$0.1 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

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

Para este caso, su valor es de **10.7 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 el caso del acuífero, se considera que no existe descarga natural comprometida.

Por lo tanto, **DNC = 0.0 hm³/año**

8.3 Volumen de extracción de agua subterránea (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 (REPD), 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 **316,326 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 10.7 - 0.0 - 0.316326 \\ \text{DMA} &= 10.383674 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **10,383,674 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos Santa Fe del Pino, Hércules, Laguna El Guaje, Laguna El Coyote, Acatita, Las Delicias, Serranía del Burro y Valle de San Marcos, en el estado de Coahuila. Realizado mediante convenio con el Instituto del Agua del estado de Nuevo León.