

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA EL COYOTE (0518), 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.....	14
4.3 Geología del subsuelo	15
5. HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1 Tipo de acuífero	16
5.2 Parámetros hidráulicos.....	17
5.3 Piezometría	17
5.4 Comportamiento hidráulico.....	17
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	19
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	19
7.1 Entradas	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	20
7.2 Salidas.....	25
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	25
8. DISPONIBILIDAD	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	26
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	26
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-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 Laguna El Coyote, definido con la clave 0518 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro occidental del estado de Coahuila, entre los paralelos 26° 40' y 27° 52' de latitud norte y los meridianos 102° 27' a 103° 22' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 4,527 km². Limita al norte con el acuífero Laguna El Guaje, al sur con los acuíferos El Hundido, Las Delicias y Acatita, al este con los acuíferos Cuatrociénegas-Ocampo y Cuatrociénegas y al oeste con el acuífero Laguna del Rey-Sierra Mojada, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

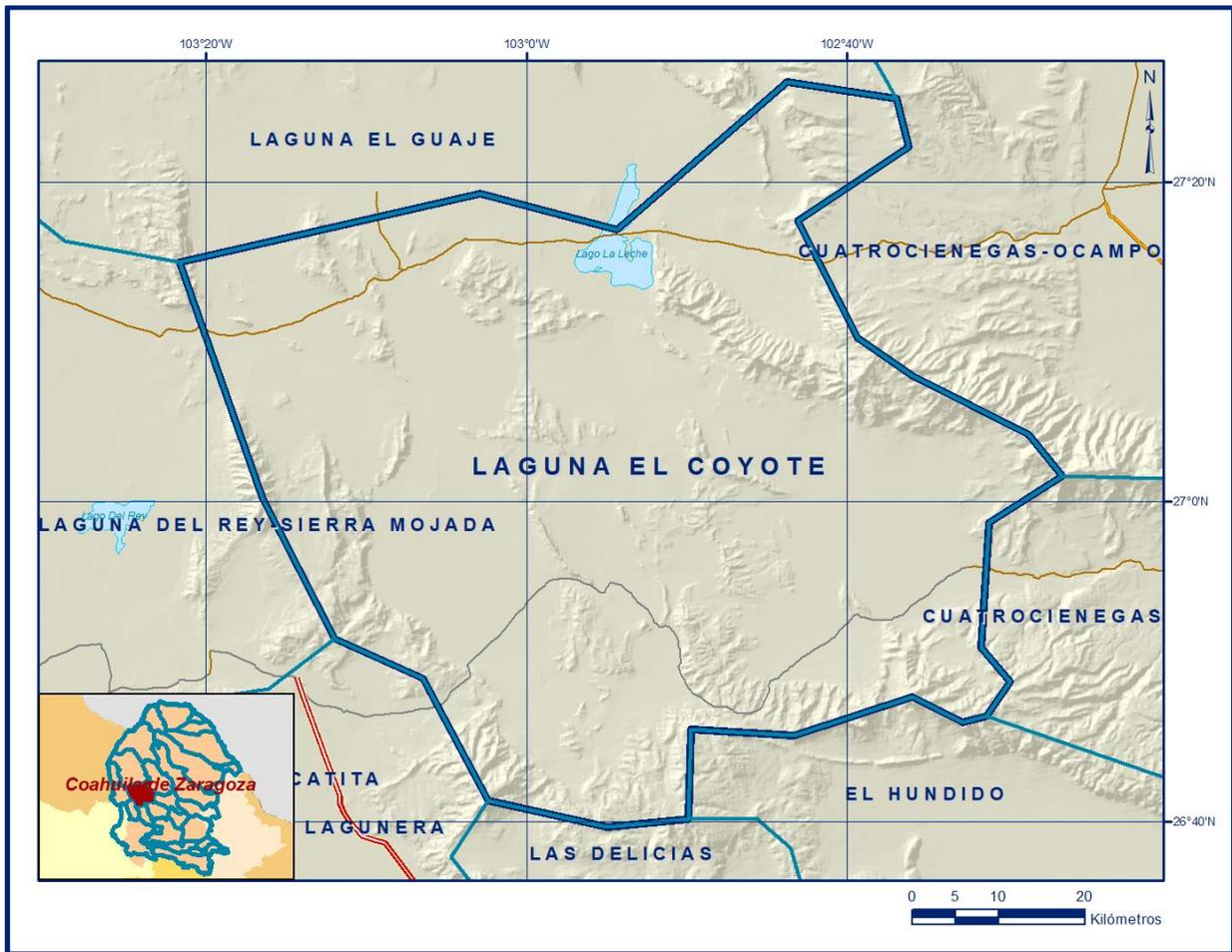


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se localiza casi en los municipios Ocampo y Cuatrociénegas; pequeñas porciones de su extremo suroccidental pertenecen a los municipios Sierra Mojada y Francisco I. Madero.

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

ACUÍFERO 0518 LAGUNA EL COYOTE

VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	11	57.8	26	51	26.1
2	103	16	30.2	27	0	12.9
3	103	21	39.3	27	14	58.2
4	103	2	54	27	19	16
5	102	54	21.3	27	16	59
6	102	43	42.8	27	26	15.1
7	102	36	54.4	27	25	12
8	102	36	8	27	22	10.3
9	102	43	3.9	27	17	32.5
10	102	39	21.6	27	10	15.9
11	102	35	56.9	27	7	53
12	102	28	38.2	27	4	11.4
13	102	26	33.9	27	1	35.2
14	102	31	9.7	26	58	40.6
15	102	31	39.5	26	50	50.8
16	102	29	49.9	26	48	45
17	102	31	18	26	46	35.3
18	102	32	47.2	26	46	11.4
19	102	35	53.9	26	47	46.5
20	102	43	17	26	45	23
21	102	49	45.7	26	45	46.6
22	102	49	54.3	26	40	9.3
23	102	54	57.2	26	39	37.6
24	103	2	24.2	26	41	18.8
25	103	6	29.2	26	48	55.8
1	103	11	57.8	26	51	26.1

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

1.2 Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Laguna El Coyote pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Coahuila. Una pequeña porción al sur 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 doméstico. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha 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), la porción sureste del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental y la porción noroccidental en la Provincia 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. una 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. En el acuífero se localizan dos subprovincias: Sierra La Paila, que consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, y las Sierras y Llanuras Coahuilenses.

La provincia Sierras y Llanuras del Norte, es una provincia árida y semiárida que se extiende también profundamente hacia el territorio de Estados Unidos de América. Con variantes, sus sierras, más bien bajas y abruptas, se orientan burdamente nornoroeste-sursureste y quedan separadas entre sí por grandes bajadas y llanuras con relleno aluvial, a las que tradicionalmente se ha llamado "bolsones". En el acuífero se localiza la Subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas, dos salientes de ella penetran en territorio coahuilense, una inmediatamente al sur del Bolsón de Mapimí, muy llano y árido, y la región plana al este de la ciudad de Torreón.

El acuífero se encuentra rodeado por una serie de sierras alargadas orientadas NW-SE, formadas por rocas sedimentarias del Cretácico (principalmente calizas) entre las que destacan la Sierra de Las Flores y la Sierra El Pedregoso al norte; la Sierra de La Madera al noreste; la Sierra de La Arena en la parte central-este; las sierras El Rey y La Candelaria al suroeste y; las sierras Los Órganos y El Venado al sur.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la zona del acuífero impera un clima clasificado como BW_{hw}, 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 elevaciones topográficas de las sierras La Madera al norte y El Venado y La Fragua al sur, el clima cambia al tipo BS_{0kw} y BS_{1kw} 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. 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 **260 mm y 19.0 °C**, respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial su valor medio anual es de **2000 mm anuales**.

3.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero pertenece a la Región Hidrológica 35 denominada Mapimí, Cuenca de la Laguna del Rey. 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. En la cuenca de la Laguna del Rey, se ubican lagunas poco profundas e intermitentes que sólo son aprovechadas en la explotación de sales cristalizadas por la evaporación en sus fondos secos.

3.4 Geomorfología

En la zona comprendida por el acuífero, se distinguen 3 principales unidades geomorfológicas: Sierras anticlinales, llanos y lagunas intermitentes.

Sierra Anticlinales. Corresponden a elevaciones topográficas alargadas con una orientación NNW - SSE, formadas principalmente por pliegues anticlinales en rocas calcáreas cretácicas. Una sierra anticlinal importante es la de La Madera ubicada al noreste del acuífero, la cual tiene más de 30 km de longitud y ancho de 6 km. Las sierras El Rey, La Candelaria, Los Órganos, El Venado y La Fragua, bordean la porción sur del acuífero y entre todas constituyen una elevación topográfica formada por calizas del Cretácico que presentan formas redondeadas y pendientes medias a fuertes.

Llanos. Representan extensas planicies que se encuentran separadas por sierras. Las principales son las ubicadas al sur de la estación de ferrocarril Berrinche y al sureste de la estación Arrocha. Ambas presentan formas planas con ligera pendiente.

Lagunas Intermitentes. Se marcó como una unidad geomorfológica, debido a que corresponden a planicies horizontales donde ocasionalmente se acumula agua de lluvia que posteriormente se pierde por evaporación. Las 2 principales se localizan al norte y noroeste del acuífero.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales así como ígneas 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.

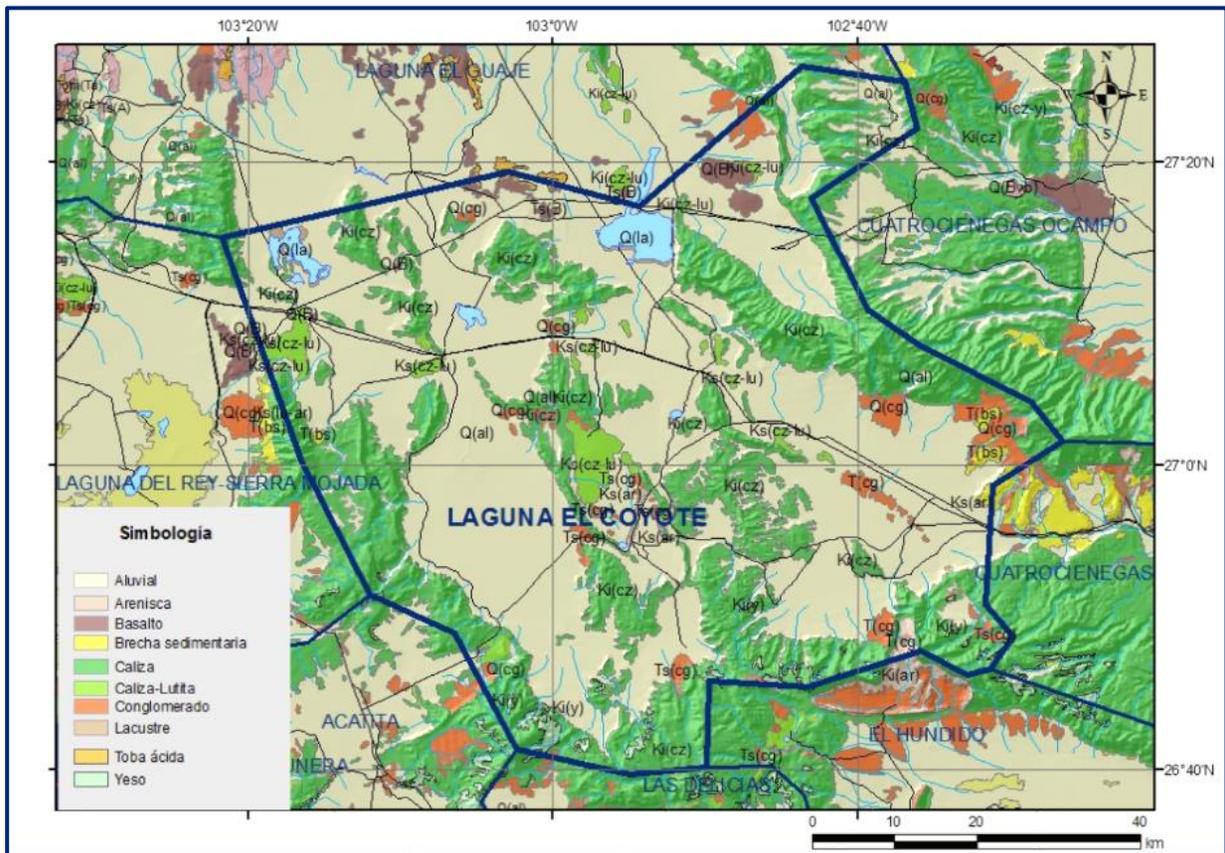


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La columna estratigráfica de la región incluye a formaciones del Cretácico Inferior (La Mula, La Virgen, Cupido, La Peña, Acatita, Aurora, Treviño, Del Río y Buda), del Cretácico Superior (Indidura), así como sedimentos continentales del Paleógeno-Neógeno (Formación Ahuichila) y Cuaternario (Conglomerados, aluviones, lacustres y eólicos). Complementan la columna, rocas ígneas extrusivas. 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 La Mula

Esta formación fue definida por Imlay, 1940 en el potrero de La Mula, ubicado a 30 km al noroeste de Ocampo, Coahuila. Consiste de lutitas en la parte inferior, cubiertas por calizas de textura fina en la parte superior. Tiene un espesor de 674 m. Se le asigna una edad Barremiano.

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. 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, al norte de la zona, 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. La localidad tipo se encuentra en Sola Creek, Austin, Texas. Esta unidad es de amplia distribución en el noroeste de México. Se ha medido en las sierras 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 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.

CUATERNARIO

Rocas ígneas extrusivas

Están representadas por algunos afloramientos de basaltos de edad cuaternaria, se encuentran en el extremo noreste del acuífero.

Aluvión

Los depósitos cuaternarios se encuentran distribuidos extensamente en gran 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 Laguna El Coyote y La Leche, predominan sedimentos finos intercalados con evaporitas.

4.2 Geología Estructural

Las estructuras predominantes son anticlinales y sinclinales de origen sedimentario del Cretácico. Los anticlinales de mayor importancia son los que constituyen las sierras El Rey, La Candelaria, Los Órganos, El Venado y La Fragua. 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.

Las fallas normales se identifican a través de varios criterios, tales como alineamientos, truncamiento de estructuras, escarpes y cambios en la red de drenaje. En la porción noreste (Sierra La Madera), las fallas poseen un alineamiento general N 40° W y una longitud que varía de 20 a más de 40 km. En la región sur y suroeste las fallas tienen una dirección N 20° W y longitudes del orden de 20 km.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica e hidrogeológica 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 las Laguna El Coyote y La Leche, predominan sedimentos lacustres y eólicos intercalados con evaporitas. La porción inferior está conformada por calizas y rocas volcánicas: tobas, y localmente 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 volcánicas, al desaparecer el fracturamiento. 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. Dichos materiales han permitido la acumulación de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltración del agua de lluvia y que se almacena en el subsuelo.

Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero. En general se caracteriza por presentar alto contenido salino, lo que restringe su utilización.

Las rocas que constituyen las elevaciones topográficas corresponden principalmente a calizas, de las cuales se desconoce su potencial acuífero, sin embargo, dichas calizas generalmente contienen yesos, lo que provoca que el agua que tiene contacto con dichas rocas presentan alta salinidad.

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 El Coyote y La Leche, se presentan condiciones locales de semiconfinamiento. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan 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

Como parte del estudio realizado en el año 2010, sólo se realizaron 2 pruebas de bombeo de corta duración tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos analíticos de Theis, Hantush y Theis & Jacob. Los dos primeros para los datos tomados en abatimiento y el tercero para los de recuperación. Los resultados de su interpretación arrojan valores contrastantes de **0.06 y $160 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$** , que corresponden a condiciones locales del medio.

Ninguna de las pruebas contó con pozo de observación por lo que no fue posible estimar el coeficiente de almacenamiento.

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 18 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 11 de las 18 muestras sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores extremos que varían de 484 a 6,636 ppm, que sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido 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. Los valores superiores a las 1,000 ppm se registran en algunos aprovechamientos los cuales pertenecen a la familia de aguas Sódico-Sulfatadas, mientras que las que no exceden las 1,000 ppm pertenecen a la familia de aguas Bicarbonatada-Cálcica.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), 4 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.

El resto de los pozos se clasifican como C_4-S_1 , C_4-S_2 y C_4-S_3 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 58 aprovechamientos, de los cuales 41 son pozos, 15 son norias, 1 manantial y 1 cárcamo. Del total de obras, 44 se encuentran activas y 14 inactivas.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **10.3 hm³ anuales**, de los cuales 10.2 hm³ (99%) se destinan al uso doméstico y 0.1 hm³ para uso agrícola (1 %).

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:

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

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:

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

7.1 Entradas

Las entradas al acuífero Laguna El Coyote 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, se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos activos de agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles. La calidad del agua en general dentro del acuífero no es buena. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 4527 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 para toda la superficie del acuífero, 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:

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área 4527 km² por la lámina de precipitación media anual (279.5 mm):

$$V_{LL} = 4527 \text{ km}^2 (0.2795 \text{ m}) = 1265.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 280 mm y temperatura de 19° C.

Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

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

La fórmula solo 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 $1/8\lambda$ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que $1/2\lambda$ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 257 mm anuales. Si consideramos el valor de la ETR obtenida (257 mm anuales), el volumen de la ETR es:

$$\mathbf{VETR} = 4527 \text{ km}^2 (0.257 \text{ m}) = 1163.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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, defecha 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:

$$\begin{array}{ccccccc} \mathbf{VOLUMEN\ ANUAL\ DE} & & & & & & \\ \mathbf{ESCURRIMIENTO} & & & & & & \\ \mathbf{NATURAL\ DE\ LA} & = & \mathbf{PRECIPITACIÓN} & & \mathbf{ÁREA\ DE\ LA} & & \mathbf{COEFICIENTE\ DE} \\ \mathbf{CUENCA} & & \mathbf{ANUAL\ DE\ LA} & * & \mathbf{CUENCA} & * & \mathbf{ESCURRIMIENTO} \\ & & \mathbf{CUENCA} & & & & \end{array}$$

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, existan 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 (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\begin{aligned} \text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, \quad & Ce = K (P-250) / 2000; \\ \text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, \quad & Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5; \end{aligned}$$

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
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
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 de suelo, predominan los tipos Litosol, Rendzina y Regosol (figura 3). En cuanto al uso de suelo (figura 4), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 87.2% de la superficie del acuífero está cubierta por matorral, en la que el suelo es tipo B, cubierta del 50 al 75%, por lo que $K = 0.24$; 1.1% del acuífero presenta pastizal, suelo tipo B, con cobertura mayor del 50 al 75%, por lo que $K = 0.24$; la vegetación Halófila se presenta en 7.1% de la superficie del acuífero, suelo tipo C, en áreas incultas y desnudas, por lo que $K = 0.30$; los asentamientos urbanos con 1.4% de la superficie del acuífero, suelo tipo C, por lo que $K = 0.30$; el bosque de pino cubre el 1.9% de la superficie del acuífero, suelo tipo B, cubierto del 50 al 75%, por lo que $K = 0.22$; finalmente, un 1.3% del área del acuífero presenta chaparral, tipo B, cubierto menos del 50%, por lo que $K = 0.28$.

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.87) + 0.24 (0.01) + 0.30 (0.07) + 0.30 (0.01) + 0.22 (0.02) + 0.28 (0.01) = 0.25$$

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 (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.07$$
$$C_e = 0.07$$

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

$$\mathbf{VESC} = 0.07 (1265.3 \text{ hm}^3) = 88.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\mathbf{VINF} = \mathbf{VLL} - \mathbf{VETR} - \mathbf{VESC}$$
$$\mathbf{VINF} = 1265.3 - 1163.4 - 88.6$$
$$\mathbf{VINF} = \mathbf{13.3 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $1267.6 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.01. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $13.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los 4527 km^2 de superficie del acuífero. Por lo que la **$R_v = 13.3 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

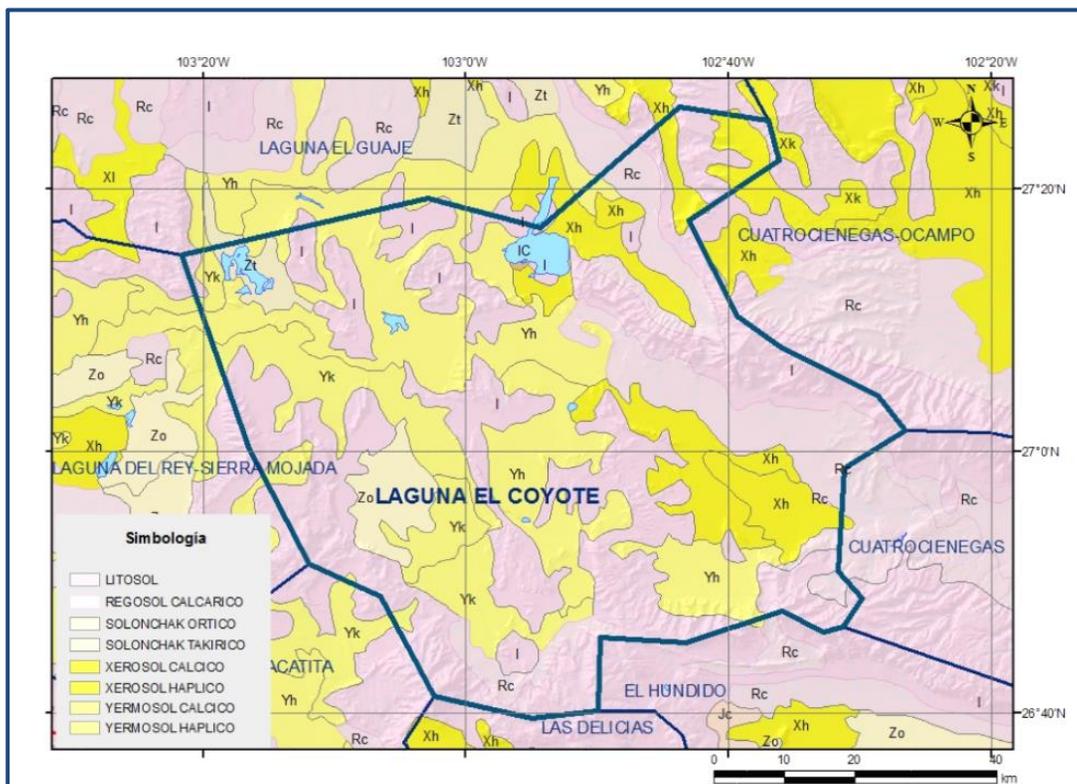


Figura 3. Tipo de suelo

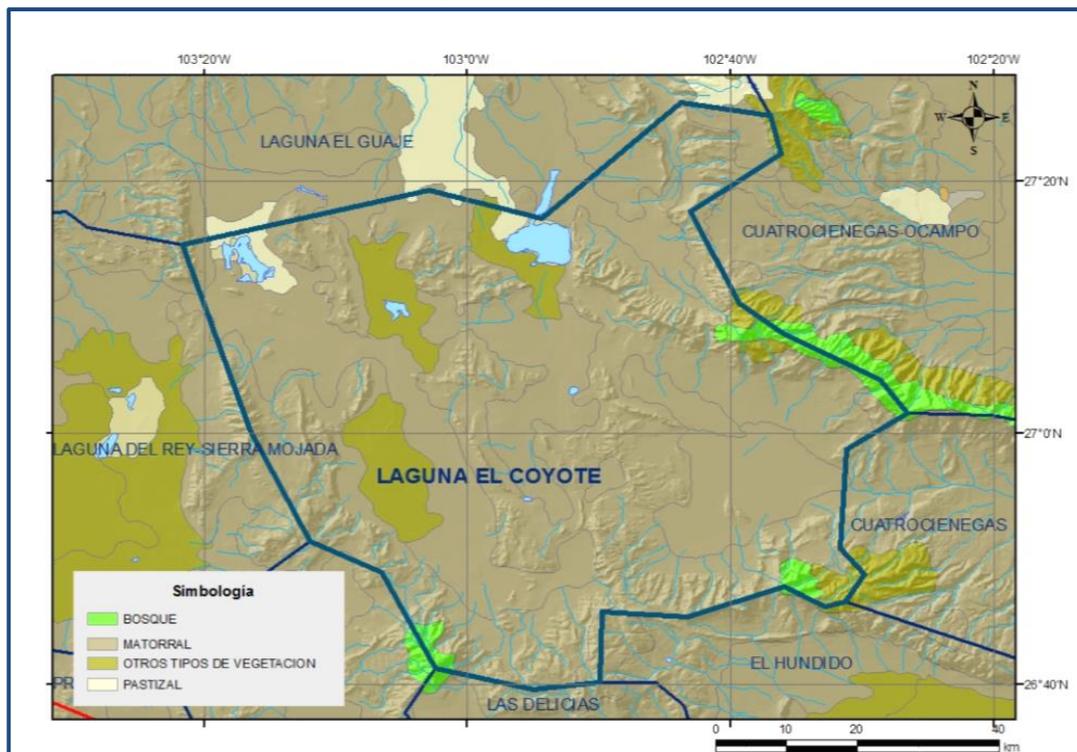


Figura 4. Uso de suelo

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 existe flujo base en ríos, los manantiales descargan caudales muy pequeños y son de régimen intermitente.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **10.3 hm³/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.

Para este caso, su valor es de **13.3 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 = 0.0 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 **1,682,321 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 13.3 - 0.0 - 1.682321 \\ \text{DMA} &= 11.617679 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **11,617,679 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 por el Instituto del Agua del estado de Nuevo León.