CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO ACATITA (0524), 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 6
3.1 Provincia fisiográfica 6
3.2 Clima 6
3.3 Hidrografía 6
3.4 Geomorfología 7
4. GEOLOGÍA 7
4.1 Estratigrafía 8
4.2 Geología estructural 10
4.3 Geología del subsuelo 10
5. HIDROGEOLOGÍA 11
5.1 Tipo de acuífero 11
5.2 Parámetros hidráulicos 12
5.3 Piezometría 12
5.4 Comportamiento hidráulico 12
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 13
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 13
7.1 Entradas 14
7.1.1 Recarga vertical (Rv) 14
7.2 Salidas 19
7.2.1 Bombeo (B) 19
7.2.2 Descarga a través de Manantiales (Dm) 20
8. DISPONIBILIDAD 20
8.1 Recarga total media anual (R) 20
8.2 Descarga natural comprometida (DNC) 20
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 21
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA) 21
9. BIBLIOGRAFÍA 22

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 Acatita, definido con la clave 0524 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur-occidental del estado de Coahuila, entre los paralelos 26° 12' y 26° 52' de latitud norte y los meridianos 102° 57' y 103° 23' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 1,891 km^2.

Colinda al sur y al oeste con el acuífero Principal-Región Lagunera, al norte con los acuíferos Laguna del Rey-Sierra Mojada y Laguna el Coyote y al este con el acuífero Las Delicias, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).

Geopolíticamente, el acuífero Acatita se encuentra contenido principalmente dentro del municipio Francisco I. Madero y en menor proporción en los municipios de Sierra Mojada y Cuatro Ciénegas; todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila.

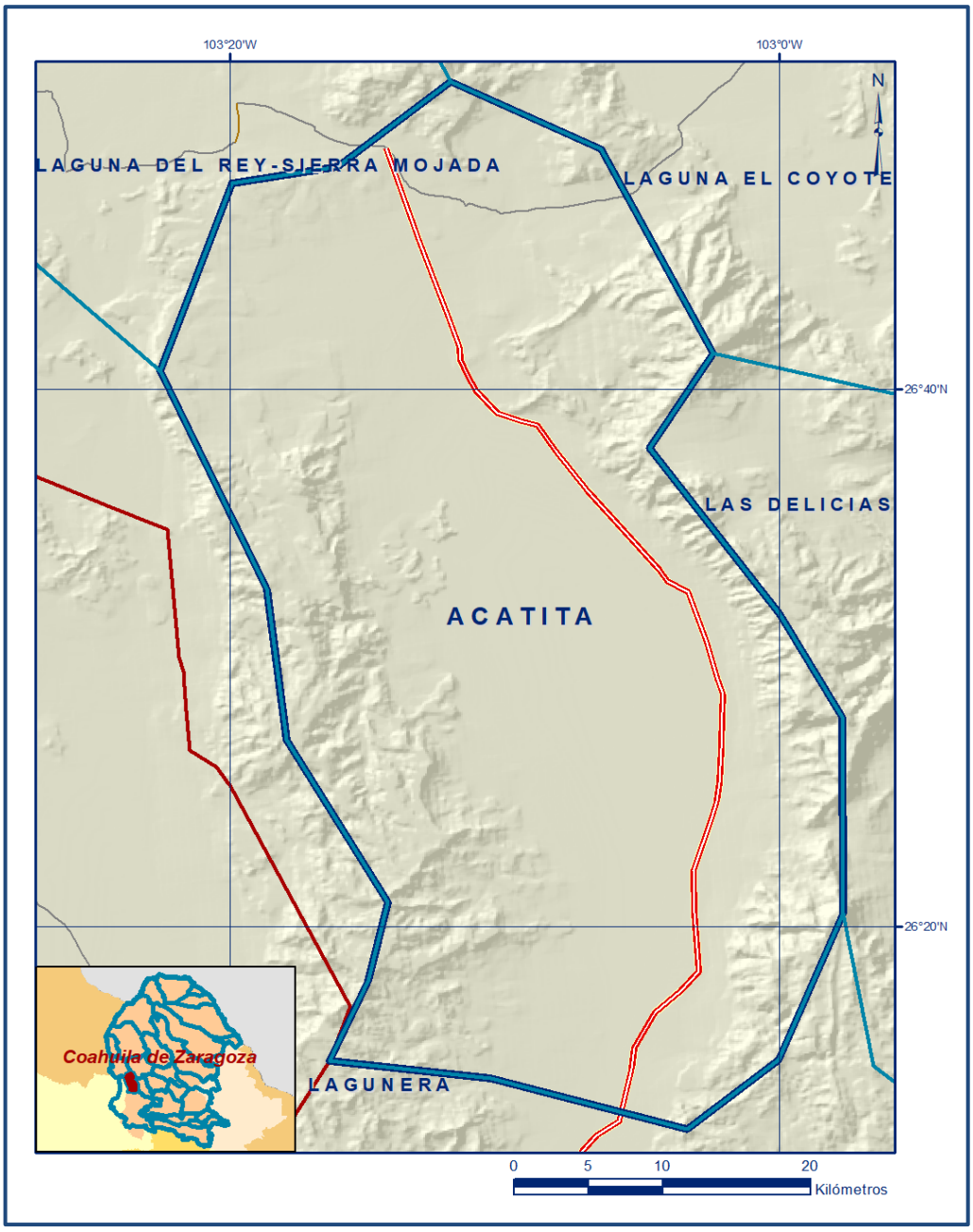


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada que delimitan el acuífero

ACUIFERO 0524 ACATITA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	49	54.3	26	40	9.3
2	102	45	39.2	26	40	13.3
3	102	43	29.6	26	38	19.9
4	102	39	43.5	26	25	15.4
5	102	35	14.4	26	19	48.1
6	102	34	48.6	26	14	2.6
7	102	30	39.6	26	10	24.8
8	102	34	48.3	26	3	11
9	102	41	16.6	26	4	38.1
10	102	44	44.1	26	4	52.9
11	102	48	17.0	26	7	56.3
12	102	49	41.1	26	7	32.1
13	102	50	11.3	26	9	51.8
14	102	56	34.3	26	14	48.5
15	102	57	41.1	26	20	27.9
16	102	57	41.6	26	27	46.4
17	102	59	58.7	26	31	38.5
18	103	4	43.4	26	37	48.1
19	103	2	24.2	26	41	18.8
20	102	54	57.2	26	39	37.6
1	102	49	54.3	26	40	9.3

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Acatita pertenece al Organismo de Cuenca VII "Cuencas Centrales del Norte" y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Coahuila. Casi la totalidad del territorio que cubre el acuífero se encuentra sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda. El primero cubre la parte sur del acuífero y es el *"Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila*", publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 06 de diciembre de 1958. Esta veda es tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

El segundo cubre la parte centro del acuífero y es el “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 es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Por último una pequeña zona en la parte norte del acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

El principal uso es el agrícola. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En el territorio que comprende el acuífero se ha realizado sólo un estudio hidrogeológico de evaluación que abarca su superficie completa, además de otros estudios en acuíferos vecinos, denominado:

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.

Este estudio fue 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

El acuífero se encuentra ubicado en la Provincia Fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental y una pequeña porción al sur en Sierras y Llanuras del Norte (Raisz E., 1964), que a su vez se subdivide en dos subprovincias: Sierra de la Paila (donde se encuentra la mayor parte del acuífero y pertenece a la provincia Sierra Madre Oriental) y Laguna de Mayrán (en una pequeña porción al sur del acuífero y pertenece a la provincia Sierras y Llanuras del Norte).

Morfológicamente la provincia fisiográfica consta de un conjunto de sierras y bolsones amplios, de drenaje interno, las calizas dominan casi en su totalidad a las sierras y en menor medida rocas volcánicas. En sus partes bajas se constituye por llanuras y pequeños lomeríos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Acatita son: BWhw que cubre la mayor parte del acuífero y se clasifica como muy seco semicálido con lluvias en los meses de mayo a octubre, temperaturas entre 18°C y 22°C, menor de 18°C en el mes más frío y mayor de 22°C en el mes más caliente, lluvias de verano del 5% al 10.2% anual. Hacia las elevaciones topográficas en los límites del acuífero se tiene el tipo BS_0kw que se clasifica como seco templado y lluvias entre los meses de mayo a octubre y escasas en el resto del año, con valores de 200 a 300 mm de lámina de lluvia.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de isoyetas e isotermas del Atlas del INEGI. De acuerdo con estos datos, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de **280 mm y 19.0 °C**, respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial su valor medio anual es de **2,500 mm anuales.**

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 35 “Mapimí”, cubre la porción suroeste del estado de Coahuila, en la región conocida como Comarca Lagunera, corresponde a la cuenca cerrada de Laguna del Rey. En esta región se localizan dos presas de importancia y se ubica el área de mayor consumo de aguas subterráneas.

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

La morfología está determinada para la mayor parte del acuífero como una extensa planicie, como lo es el Bolsón de Mapimí, el principal accidente orográfico del territorio es atravesado en sentido norte-sur, desde el centro del acuífero hasta sus límites hacia el norte por la Sierra del Rey.

Existen hacia el extremo norte varios vasos lacustres formados en cuencas endorreicas que se encuentran secos la mayor parte del tiempo, captando agua sólo en épocas de lluvias, en su extremo sur cuenta con un sistema de riego mediante canales que conducen agua proveniente de la Presa Lázaro Cárdenas formadas por el río Nazas.

4. GEOLOGÍA

La geología de la zona, está constituida por rocas calizas, lutitas, areniscas, conglomerados, yesos y aluvión, cuyas edades varían del Paleozoico al Reciente. En las partes bajas de la zona, las rocas calcáreas están cubiertas por unidades calcáreo arcillosas del Cretácico Superior y materiales aluviales que datan del Cenozoico al Cuaternario, como arenas, limos y arcillas, producto del intemperismo y la erosión de las montañas circundantes. La distribución de las diferentes unidades litológica se presenta en la figura 2.

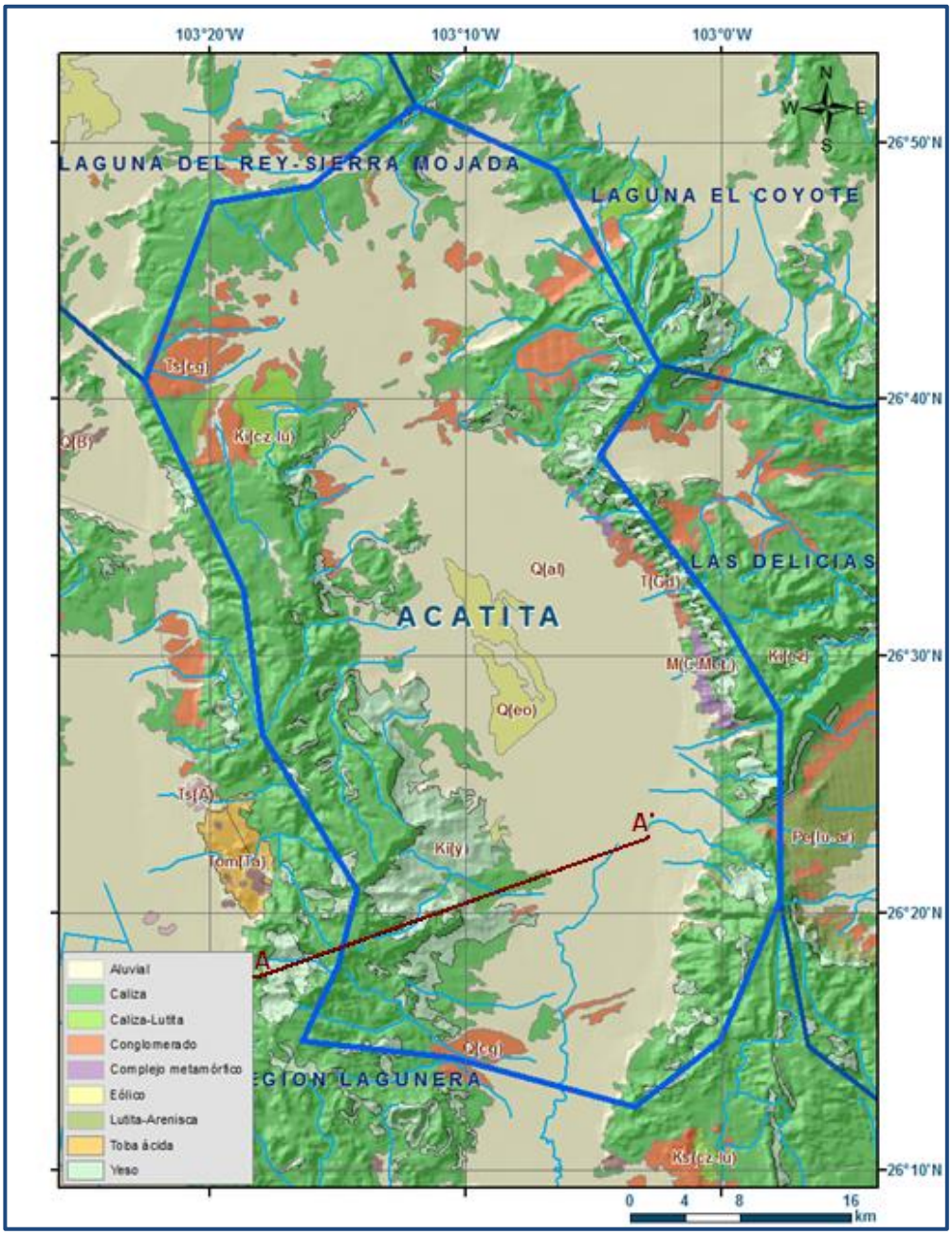


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie del acuífero, está conformada en su base por pizarras, cuarcitas y filitas del Paleozoico inferior, subyaciendo a la secuencia vulcano-sedimentaria de la Serie Delicias del Paleozoico superior, que se constituye por calizas arrecifales, andesitas, calcarenitas y lutitas. Las rocas Paleozoicas se encuentran afectadas por cuerpos intrusivos de composición granodiorita-granito (Carta Geológica-Minera G13-6 “Tlahualilo de Zaragoza”, escala 1:250,000, SGM, 2008).

A continuación, se describen las unidades de la más antigua a la más reciente:

Formación San Marcos (KbehAr-Lu): del Neocomiano constituida principalmente por areniscas, conglomerados polimícticos y limolitas, es discordante con las rocas Paleozoicas, concordante y transicional a la **Formación Cupido (KhapCz)**, que la sobreyace y que se constituye por estratos delgados a medianos de grainstone y dolomías arenosas y estratos medianos a gruesos de mudstone y wackestone, sobreyace concordantemente la **Formación La Peña (KapCz-Lu),** y se constituye por calizas arcillosas de estratificación delgada en alternancia con lutitas calcáreas.

Sobreyace concordantemente la **Formación Aurora (KaCz-Do)**, constituida por calizas fosilíferas de estratificación media o masiva, con nódulos de pedernal y estilolitas, en donde cambia transicionalmente de facies a calizas con pedernal, calizas dolomíticas y yesos pertenecientes a la **Formación Acatita (KaCz-Y)** de edad Albiano inferior y medio.

Sobreyace la **Formación Kiamichi (KaLu-Cz)**, compuesta por una secuencia de lutitas arcillosas presentando estratos medios calcáreos. Esta formación presenta un cambio de facies a la cima de la Formación Acatita, (KaCz-Y) perteneciente al Albiano medio-superior.

Subyace concordantemente la **Formación Treviño (KaceCz)** presentando una alternancia de lutitas y calizas arcillosas, con algunas láminas de yeso y areniscas del Cenomaniano superior, que pertenecen a la **Formación Indidura (KcetCz-Lm).** Cubriendo discordantemente a estas areniscas, se tienen limolitas, areniscas y capas potentes de conglomerado, compuesto de guijarros de caliza en una matriz arcillo-arenosa cementada por calcita, de la **Formación Ahuichila (TeoCgp-Ar)**, de edad Eoceno-Oligoceno.

Intrusionando a las rocas anteriores, se reconocen rocas ígneas de edad Oligoceno, en la que pueden corresponder a dos diferentes eventos magmáticos; el primero originó el tronco de composición monzonítica localizado en la Sierra Los Alamitos.

El segundo evento se manifiesta con el tronco hipabisal que se localiza en El Cerro Cortado, de composición andesítica. Durante el Oligoceno se generaron derrames de riolita, andesita, traquita y tobas riolíticas.

Sobreyaciendo discordantemente se tienen derrames basálticos en periodos de vulcanismo; el primero generado en el Cenozoico Mioceno, y otro para el Cenozoico Plioceno y en el Cuaternario Holoceno. Una serie de depósitos de piamonte, aluviones, sedimentos lacustres y yesos de edad Cuaternaria representan los últimos acontecimientos geológicos del área.

4.2 Geología estructural

En la región se identifican anticlinales y sinclinales, así como fallas normales y laterales, asociados a tres eventos de deformación:

El primero pertenece al Paleozoico, en las que se afectó a las rocas del Paleozoico Inferior y a la secuencia vulcano-sedimentaria del Paleozoico Superior. Esta deformación posiblemente sea producto de la Orogenia Ouachita-Marathon-Apalachiana, que se presentaría en Norteamérica durante éste tiempo.

El segundo se realizó en el Jurásico con la formación de rifts continentales que controlaron la sedimentación y la transgresión marina de esa época hasta parte del Cretácico Inferior.

El tercero se presentó a 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 de Farallón hacia el este. Este evento origina pliegues anticlinales y sinclinales asimétricos desarrollándose en forma paralela 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 ocasionado por la plasticidad de los yesos de la formación Acatita, que al ocurrir la compresión, las capas más resistentes y compactas (Formación Treviño), se deslizaron sobre estos yesos, produciendo cabalgaduras, anticlinales y sinclinales cerrados.

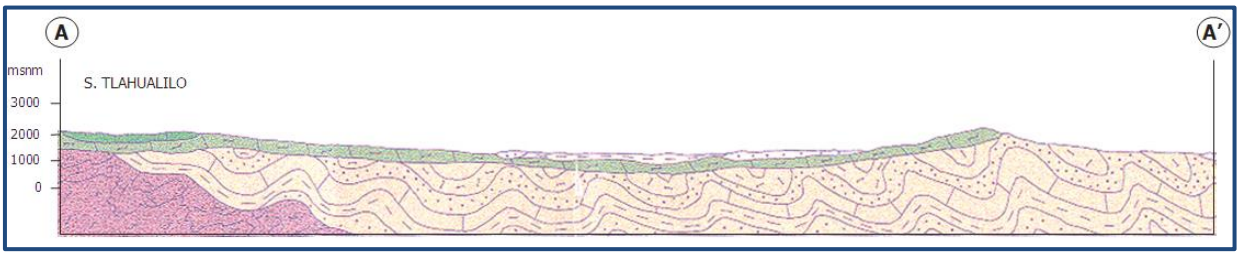
4.3 Geología del subsuelo

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 predominan sedimentos lacustres y eólicos intercalados con evaporitas. La porción inferior está conformada por calizas, areniscas y lutitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Buda, Aurora 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, al desaparecer el fracturamiento. A mayor profundidad las barreras al flujo subterráneo y el basamento están representadas por las lutitas y las rocas graníticas.

Hacia los límites del acuífero en las sierras que limitan al valle, se constituyen predominantemente de calizas, principalmente de la Formación Acatita, caracterizada por yesos. En la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática que muestra la disposición en el subsuelo de las diferentes unidades litológicas.



Fuente: Carta Geológica-Minera G13-6 “Tlahualilo de Zaragoza” Esc. 1:250,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Sección Geológica Esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y espesor variable, debido a que están subyacidos por calizas y lutitas. El agua infiltrada en la región y que llega al agua subterránea presenta un alto contenido de sales.

No se conoce si las calizas presentan horizontes acuíferos, sin embargo, la presencia de yesos disminuye el interés por el agua salina que se pudiera encontrar.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en el año 2010, sólo se realizaron 3 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 extremos de **0.1 y 115.4 x10^{-3}m^2/s**, que corresponden a condiciones locales del medio.

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.
No fue posible correlacionar las mediciones piezométricas de los pocos aprovechamientos censados en estudios previos.

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. Además, debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

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 año 2010, se tomaron 7 muestras de agua subterránea en diferentes 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, coliformes fecales y totales, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Las concentraciones de los diferentes iones y elementos de algunas 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 que varían de 149 a 6534 ppm, que sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 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.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída en tres aprovechamientos se clasifica como de salinidad baja ($_{C1)}$ y contenido bajo de sodio intercambiable (S_1).que es apropiada para el riego agrícola sin restricción alguna e el tipo de suelos y de cultivos y en el resto las muestras se clasificaron como de salinidad alta y muy alta (C_3 y C_4) y contenido muy alto de sodio intercambiable (S_4), por lo que no son recomendables para su uso en agricultura. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó la familia dominante cálcico-sulfatada, lo que es un reflejo de la influencia de los yesos y anhidritas que son de fácil disolución y se encuentran tanto entre las rocas calizas como entre los sedimentos aluviales.

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 un total de 22 aprovechamientos, de los cuales 9 están activos y 13 inactivos. De los activos, 1 es manantial y 8 son pozos. El volumen de extracción estimado es de **5.4 hm³** que se destinan al uso agrícola.

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:

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:

Recarga total-Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

Las entradas al acuífero Acatita 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 hechos 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 del agua subterránea en la superficie del acuífero, conformada en su mayor parte por planicies donde se localizan los escasos aprovechamientos y sierras hacia sus límites orientales y occidentales. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 1,891 km^2 del acuífero, para estimar 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:

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

$\mathbf{V_{LL}}$= Volumen de lluvia;
$\mathbf{V_{ETR}}$= Volumen evapotranspirado;
$\mathbf{V_{ESC}}$= Volumen escurrido;
$\mathbf{V_{INF}}$= Volumen infiltrado;

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

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (1,891 km^2) por la lámina de precipitación media anual (280 mm):

V_{LL}= 1891 km² (0.280 m) = 529.5 hm³ 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	$ETR = P - \chi P^2$
Donde: ETR= Evapotranspiración m/año P = precipitación en m/año $\chi = 1/(0.8 + 0.14\ t)$ t = temperatura en ºC	

La temperatura promedio anual es de 19°C, que al sustituirlo en la ecuación de Coutagne junto con el valor de precipitación de 280 mm, se obtiene un valor de evapotranspiración de 257.3 mm/año, que multiplicado por el área total resulta en un volumen evapotranspirado de:

V_{ETR}= 1,891 km² (0.2573 m) = 486.6 hm³ 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, 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 normatividad establece la siguiente relación:

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	=	**PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA**	*	**ÁREA DE LA CUENCA**	*	**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

El coeficiente de escurrimiento (Ce) 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 en estudio, 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 3 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, 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:

Si K resulta menor o igual que 0.15, $Ce = K (P-250) / 2000;$

Si K es mayor que 0.15, $Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$

Donde:
P= Precipitación anual;
Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;
K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 3. 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	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 desuelo, predominan los tipos Litosol, Regosol y Yermosol (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 60 % de la superficie del acuífero está cubierta por matorral, en los que el suelo es tipo B, cubierta del 50% al 75 %, por lo que K=0.24; 30 % del acuífero presenta otro tipo de vegetación, suelo tipo A, por lo que K=0.26; las áreas sin vegetación con 10% de la superficie del acuífero, suelo tipo B, por lo que K=0.28.

$$\mathbf{K_{ponderado}} = 0.24\ (0.6) + 0.26\ (0.3) + 0.28\ (0.1) = \mathbf{0.25}$$

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

$$\mathbf{Ce=}\ K\ (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = \mathbf{0.0704}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: 0.0704 (529.5 hm^3) = **37.3 hm^3 anuales.** Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

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

$$V_{INF} = 529.5 - 486.6 - 37.3$$

$$\mathbf{V_{INF} = 5.6\ hm^3/año}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 768.5 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.007.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 5.6 hm^3/año en los 1,886.7 km^2 de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 5.6 hm^3/año.**

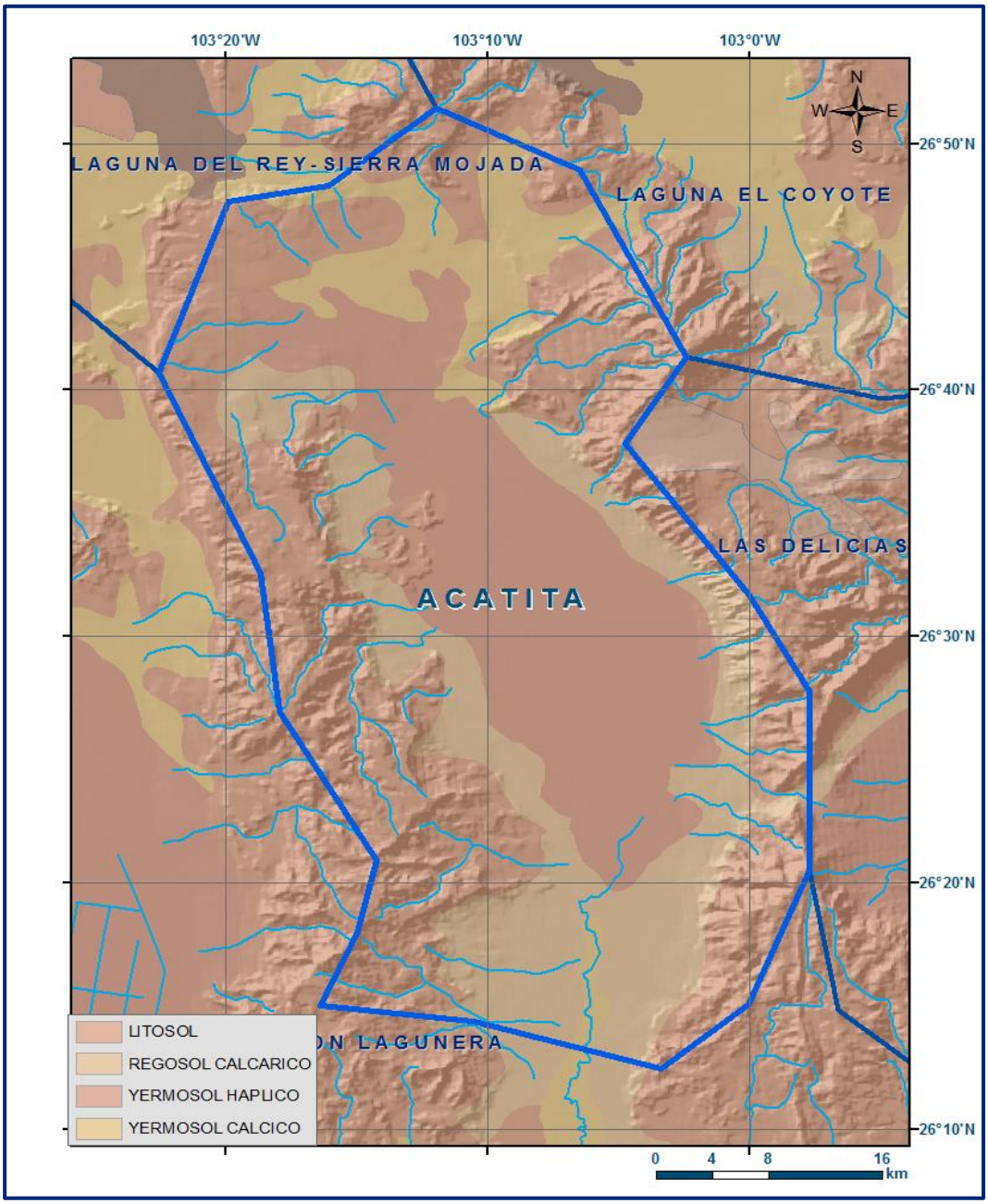


Figura 4. Tipo de suelo

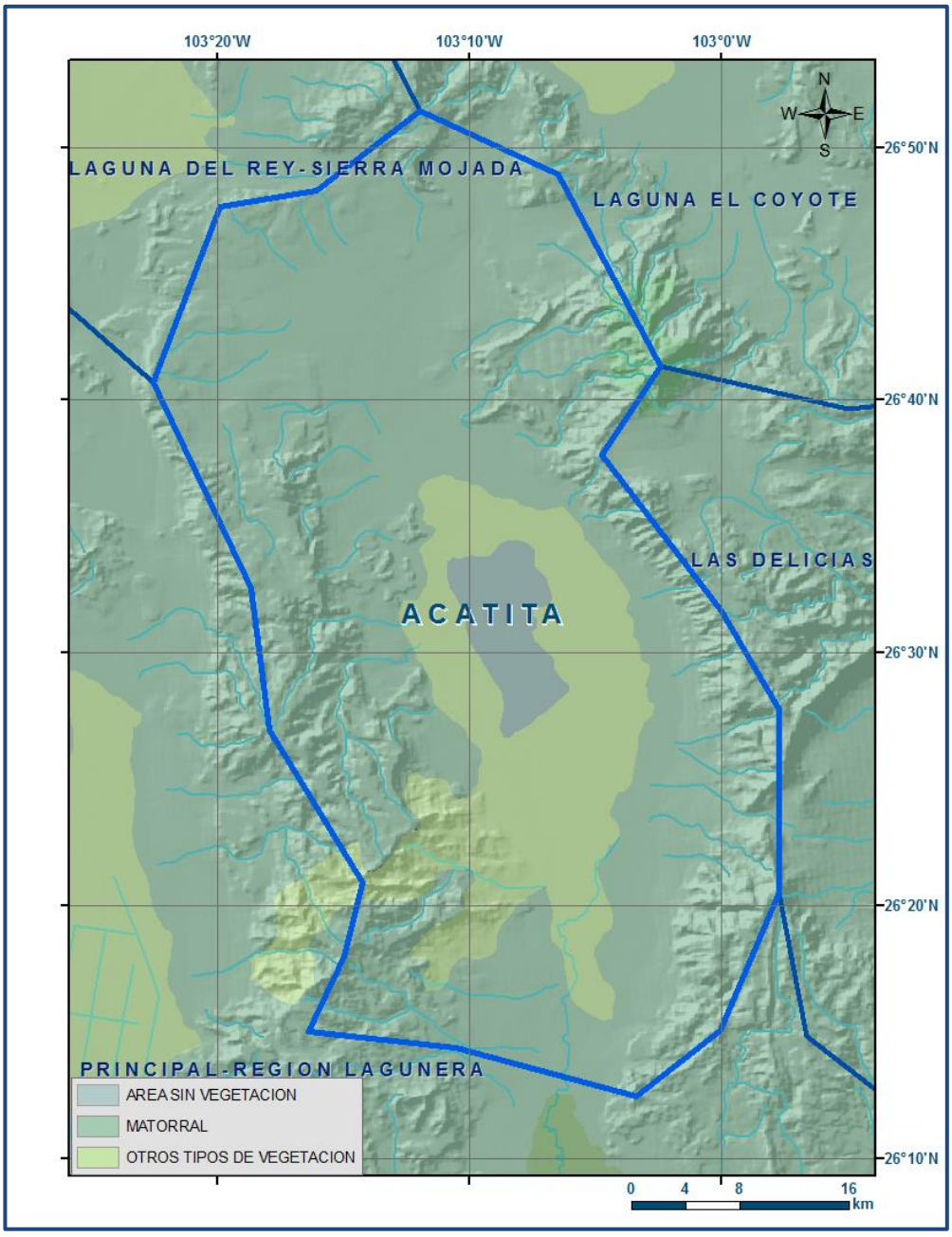


Figura 5. Uso de suelo

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), a través de manantiales (Dm) y por evapotranspiración de niveles freáticos someros. No existe información para estimar el flujo base en los ríos.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **5.4 hm³ anuales.**

7.2.2 Descarga a través de Manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificó la existencia de 1 manantial, que descarga un caudal de 5 lps, que representan un volumen de **0.2 hm³ anuales**.

8. DISPONIBILIDAD

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

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	**=**	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	**-**	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	**-**	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 **5.6 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 Acatita, se considera que la descarga natural comprometida correspondiente a un manantial que es aprovechado para uso doméstico. Por lo que **DNC = 0.2 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 (REPDA), 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 **9,900,259 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.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA= 5.6 – 0.2 – 9.900259
DMA = -4.500259 hm³/año

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **4,500,259 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, elaborado por el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León.