



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA DE JACO (0852), ESTADO
DE CHIHUAHUA**

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	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia fisiográfica.....	5
3.2 Clima.....	5
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	7
4.1 Estratigrafía	10
4.2 Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1 Tipo de acuífero	15
5.2 Parámetros hidráulicos.....	15
5.3 Piezometría	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	16
7.1 Entradas.....	17
7.2.1 Recarga vertical.....	17
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Bombeo (B).....	23
8. DISPONIBILIDAD	23
8.1 Recarga total media anual (R).....	23
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	24
8.3 Volumen de extracción de agua subterránea (VEAS).....	24
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	24

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 Laguna de Jaco, definido con la clave 0852 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Chihuahua, entre los paralelos 27° 30' y 28° 00' de latitud Norte y entre los meridianos 103° 52' y 104° 24' de longitud Oeste, cubriendo una superficie de 1,058 km². Limita al norte con el acuífero Laguna Los Alazanes, al sur con el acuífero Rancho Dentón, al occidente con el acuífero Rancho el Astillero, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua mientras que la parte este con los acuíferos Hércules y Laguna El Guaje, perteneciente al estado de Coahuila. (Figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente la mayor parte de su territorio se encuentra en el municipio de Camargo y una pequeña porción al sureste en el municipio de Jiménez. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 0852 LAGUNA DE JACO							
VÉRTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	55	41	27	40	41.5	
2	104	3	33.2	27	44	39.4	
3	104	5	17.2	27	42	59.5	
4	104	18	16.7	27	51	49.4	
5	104	23	12.2	27	57	45.2	
6	104	23	7.1	27	58	50.1	
7	104	21	42.4	27	59	46.9	
8	104	19	42.5	27	58	50.4	
9	104	14	44.9	27	59	49.8	
10	104	8	55.4	27	58	38.9	
11	104	0	40.5	27	58	38.4	
12	103	57	2.2	27	57	12.3	DEL 12 AL 13 POR EL LÍMITE ESTATAL
13	103	51	21.9	27	29	59.9	
1	103	55	41	27	40	41.5	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Laguna de Jaco pertenece al Organismo de Cuenca Río Bravo y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. En este acuífero, sólo una pequeña parte al sur 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 el 17 de abril de 1965. Este decreto se clasifica como tipo III en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, 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 uso principal del agua subterránea es el pecuario. 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 la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación. 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: LAGUNA DE PALOMAS, LLANO DE GIGANTES, LAS PAMPAS, RANCHO EL ASTILLERO, LAGUNA DE JACO, RANCHO LA GLORIA, RANCHO DENTÓN, LAGUNA LOS ALAZANES, LAGUNA DEL REY, VALLE DEL PESO, FLORES MAGÓN-VILLA AHUMADA, EL SABINAL Y LOS JUNCOS, ESTADO DE CHIHUAHUA. Elaborado por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El objetivo general de este estudio fue determinar las condiciones geohidrológicas de los acuíferos para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos; en algunos acuíferos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

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 con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en la provincia Sierras y Llanuras del Norte y en la subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas. La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida, se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila, se orienta más o menos noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. El origen de la provincia está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del Mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, dando lugar a la formación de cuencas endorreicas. Al oeste del área dominan las rocas volcánicas ácidas y calizas al este y norte. En la región predomina la morfología de bolsones, esto es, cuencas con drenaje interno donde también se alternan sierras y valles.

La subprovincia Llanuras y Sierras Volcánicas en territorio mexicano comprende parte de los estados de Chihuahua y Coahuila; al norte se extiende hacia los Estados Unidos de América. Se localiza en el costado oriente de la entidad, a manera de una franja orientada norte sur que va del noroeste de Ojinaga y el límite boreal con Coahuila, al sur de la sierra Las Pampas y el oriente de la sierra El Diablo. En esta zona, se originan algunos arroyos, afluentes del Río Bravo y hay cierto número de zonas bajas capaces de acumular agua por períodos cortos, pero el régimen pluvial es de desierto.

La mayor parte del territorio de la subprovincia es bajada o llanura, superficies aplanadas que se encuentran interrumpidas en algunos lugares por sierras, en otros por lomeríos y en unos más por mesetas.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la zona del acuífero existen 3 climas que identifican a esa región, de mayor a menor importancia se encuentran:

Clima “Muy Seco” con subclima “Muy seco semicálido”, clima “Seco” con subclima “Seco templado” y clima “semiseco” con subclima “Semiseco templado”.

Las características principales de los climas “Muy secos” es que la evaporación excede a la precipitación, son los más secos del grupo, su baja humedad depende principalmente de la escasa precipitación y la temperatura, pero también influye la poca persistencia y lo torrencial de la lluvia, la naturaleza del suelo y la cubierta vegetal; están clasificados como muy extremos, por su oscilación térmica media anual mayor de 14.0° C.

El tipo “Seco” es intermedio en cuanto a humedad, respecto a los “Muy secos” y lo “Semisecos” y están considerados como de transición entre estos 2, se distribuyen en forma de una franja que atraviesa el estado en sentido noroeste-sureste sobre los terrenos colindantes de la provincia fisiográfica de sierras y llanuras del norte con la Sierra Madre Occidental, pero también se producen en las sierras dispersas.

El clima “Semiseco” también forman parte del grupo de climas secos, en ellos la evaporación excede a la precipitación pero en menor grado que en los muy secos y secos; están considerados como de transición entre los climas secos del grupo al que pertenecen y los climas subhúmedos de los grupos cálido y templado. Con base en su temperatura media anual y su régimen de precipitación están clasificados en: semiseco templado con lluvias en verano, semiseco semicálido con lluvias en verano, semiseco semifrío con lluvias en verano y semiseco cálido con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de 3 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: “Camargo”, “Jiménez” y “Escalón” que cuentan con un periodo de análisis de enero de 1957 a diciembre de 2007, enero de 1957 a septiembre de 2008 y enero de 1957 a noviembre de 2003, respectivamente.

Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **342.8 mm y 19.3 °C** respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,821.5 mm** anuales, según datos de evaporímetro de la estación climatológica “Escalón”, con periodo de análisis de 1996 a 2006.

3.3 Hidrografía

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica RH 35 “Mapimi”, cuenca hidrológica Laguna del Guaje-Lipanes la cual se ubica entre el límite de Coahuil y Chihuahua.

Las corrientes que conforman esta cuenca se caracterizan por ser de corta duración y recorrido, son intermitentes y regularmente se pierden antes de verter sus aguas en las zonas de depresión, tales como la laguna El Jaco que es totalmente salada. Cabe destacar, que no existen, en esta porción de la región hidrológica, escurrimientos de gran magnitud propiciadas por la escasa precipitación, en esta región no se conocen los montos de escurrimiento, ya que no han operado estaciones hidrométricas. El uso primordial del agua superficial y subterránea es el pecuario.

3.4 Geomorfología

Fuerzas distensivas dieron pie a la formación de cuencas tectónicas que posteriormente fueron rellenadas, creando una de las unidades representativas del área y a la que se le denomina bolsón, la cual forma el área limitada por este acuífero.

Preponderantemente el proceso de destrucción de las estructuras elevadas, lo constituye la disección causada por las corrientes fluviales, las cuales han generado la construcción de llanuras y valles aluviales.

En general y de acuerdo a su génesis las corrientes son consecuentes radiales centrífugas como las desarrolladas en las unidades volcánicas, consecuentes deformativas las que drenan hacia los bordes de las sierras plegadas, aquellas que drenan en las estructuras sinclinales son las consecuentes longitudinales; resecuentes como las que fluyen en la porción oriental de la Sierra El Diablo, se han formado corrientes subsecuentes a causa del fracturamiento presente en la Sierra La Mezcalera. De acuerdo con observaciones de campo la zona se encuentra en una etapa de madurez.

4. GEOLOGÍA

Durante el Mesozoico existía una serie de elementos paleo-geográficos y de actividad tectónica que se desarrollaron desde el Triásico y dieron pie a la formación de dos facies de sedimentación identificadas para el Cretácico Inferior (Figura 2).

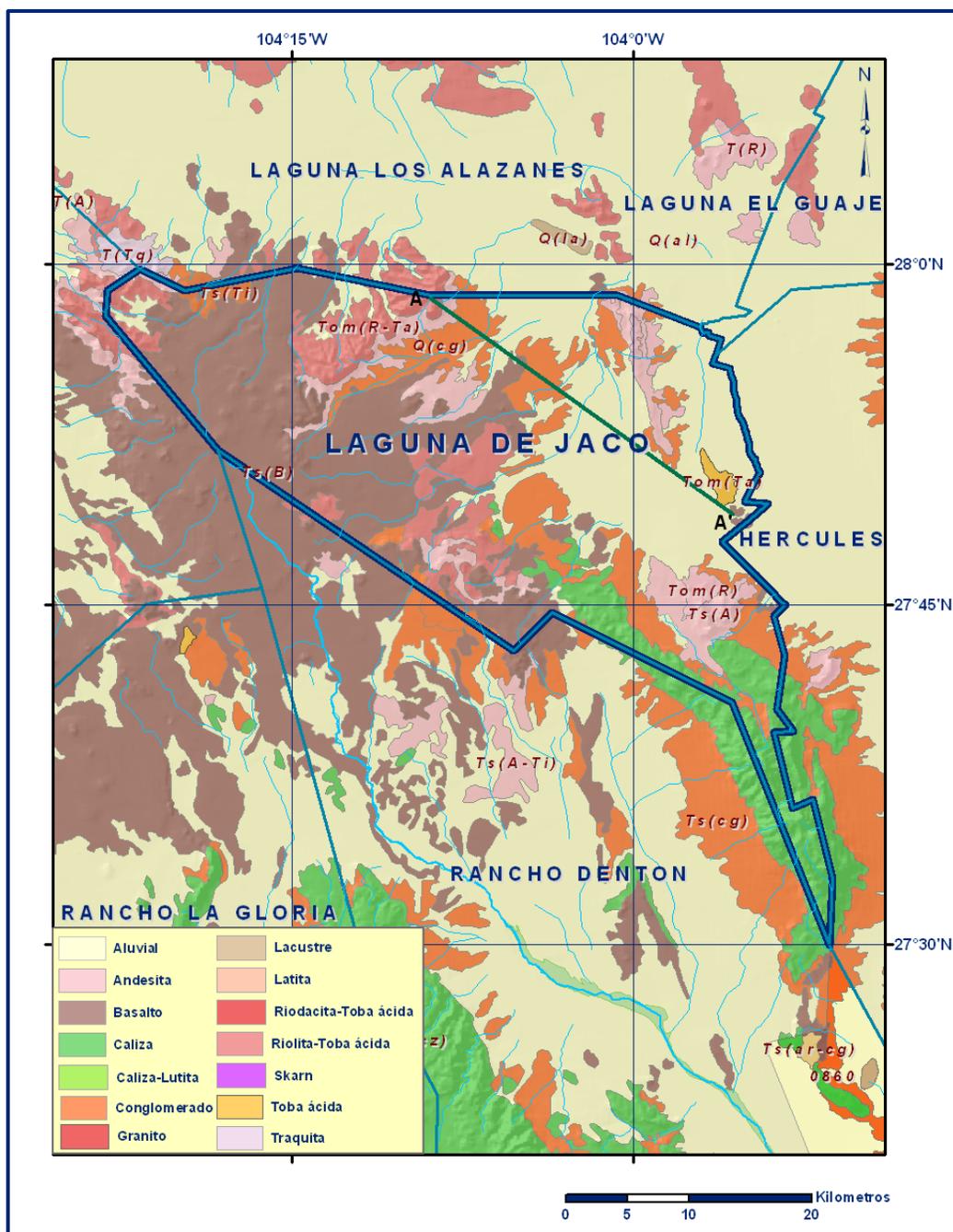


Figura 2. Geología general del acuífero

La primera de ellas de edad Hauteriviano-Turoniano según Juan Araujo y Rodolfo Arenas (1986), que se depositó al occidente del Mar Mexicano o Geosinclinal Mexicano, en facies de cuenca y con aportes de sedimentos terrígenos de probable origen de arco volcánico, representada por caliza, lutita y arenisca.

Al oriente, en donde prevalecían condiciones de facies litorales y de mares someros debido a la presencia de elementos positivos como la Isla del Cuervo e Isla de Coahuila, las que fueron transgredidas hasta el Albiano y donde predomina la facies de plataforma de mar abierto con desarrollo de bancos arrecifales y condiciones lagunares en la Plataforma de Coahuila.

Para el Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano), las condiciones de depósito varían a causa del levantamiento de la parte occidental y central (López Ramos, 1981) y dan lugar a la sedimentación marina con predominio de terrígenos en facies de mar abierto, iniciándose con la depositación de sedimentos calcáreo-arcillosos. La fase orogénica proveniente del occidente, continuó hasta principios del Cenozoico acompañada con intrusiones de granito, granodiorita, gabro y diorita, que intrusionan a las calizas de plataforma.

Se identifican secuencias vulcano-sedimentarias que infrayacen a las rocas denominadas “Complejo Volcánico Superior” (Mc Dowell y Clabaugh, 1979).

La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riodacítica y riolítica con intercalación de vulcanoclásticos, así como riolitas del Oligoceno-Mioceno que extruyeron a través de fracturas; estas unidades sobreyacen en discordancia a las rocas del “Complejo Volcánico Inferior”.

Andesita post-miocénica sobreyace concordantemente a las unidades ácidas e infrayace a basalto, el cual es el representativo de las últimas manifestaciones volcánicas, de acuerdo con las observaciones de campo, esta unidad sobreyace también discordantemente a rocas ígneas, así como a unidades Cretácicas e infrayace a rocas y sedimentos del Pliocuaternario.

Contemporánea y/o posteriormente a las manifestaciones volcánicas que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, ocurre la depositación de sedimentos clásticos en facies continentales representados por areniscas y conglomerados, que rellenan antiguas cuencas continentales, sobreyacen en forma discordante a las rocas del Cretácico e infrayacen a rocas extrusivas volcánicas de tipo ácido e intermedio y a depósitos del Paleógeno-Neógeno, las condiciones iniciales fueron de relleno de cuenca formada por areniscas y conglomerados y posteriormente lacustres, evidenciados por la depositación de caliza continental, limolita y lutita, esta secuencia es discordante con las unidades cretácicas.

Para el Cuaternario se deposita material clástico no consolidado y el desarrollo de planicies aluviales que rellenan los bolsones, también se deposita: travertino, caliche, sedimentos lacustres y localmente suelos eólicos.

4.1 Estratigrafía

El lapso de tiempo geológico representado por las unidades presentes en el área y en zonas circundantes, comprende desde la parte superior del Mesozoico hasta el Reciente. La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, por tipo de roca y de la más antigua a la más reciente.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Caliza, Ki (cz)

Aflora hacia la parte sur del área, conforma prácticamente en su totalidad a la Sierra del Diablo con elevaciones de arriba de los 2000 msnm, está formada por caliza depositada en facies de plataforma de mar abierto, con desarrollo lagunar y arrecifal. Megascópicamente su textura es de mudstone a wackstone, con variaciones locales a packstone, al microscopio las texturas son: micrita, biomicrita, espatita y en algunas muestras clástica samítica y clástica pelítica.

En general la mineralogía de la unidad está representada por calcita (micrita y espatita), trazas de sílice, trazas de hematita y feldespatos autógenos.

Presenta estilolitas paralelas y perpendiculares a la estratificación, bandas y nódulos de pedernal de tonos negro y café, huellas de disolución y horizontes petro-cálcicos con oolitas; se observaron estratos recristalizados, dolomitizados y marmorizados.

Los esfuerzos compresivos que afectaron a la unidad están representados por pliegues abiertos. Con fallamientos normales de dirección NW-SE, fracturas las cuales sirvieron de conducto para la extrusión de toba ácida y fisuras que generalmente se encuentran rellenas de calcita.

La unidad subyace en contacto transicional y concordante a lutita-arenisca del Cretácico Superior, en otros lugares la caliza sobreyace por contacto tectónico a ésta, así como la caliza-lutita del Cretácico Superior subyace discordantemente a toba ácida del Oligoceno-Mioceno y conglomerado del Neógeno.

En general se observa macrofauna como gasterópodos, rudistas del género Hipurites y pelecípodos. De acuerdo con el contenido faunístico reportado se le asigna a la unidad una edad Albiano Superior-Cenomaniano. En el área a esta unidad se le conoce como Formación Aurora. Su expresión morfológica es de sierra alta con pendientes abruptas y sierras aisladas.

Conglomerado, Ts (cg)

Unidad constituida por un conglomerado polimíctico depositado en facies continentales, se le observa mal clasificados con clastos de 5 a 50 cm de diámetro, predominando los fragmentos de roca calcárea, en menor proporción fragmentos de rocas ígneas, su grado de redondez varía de subangulosos a subredondeados y dispuestos en forma caótica, se encuentran unidos por una matriz arcillosa de color café y cementante calcáreo, ocasionalmente se presentan con fracturas rellenas de calcita, se observaron pliegues de gran radio de curvatura, pequeñas fallas locales y en discordancia angular con conglomerados Cuaternarios.

La unidad presenta diferentes tonos de coloración entre los que sobresalen el gris con tonos de beige o rojizos. Estos conglomerados sobreyacen a rocas sedimentarias del Cretácico y de igual forma a rocas volcánica del Oligoceno-Mioceno, está cubierto también en discordancia por basaltos del Neógeno, por la relación que mantiene con las demás unidades se le considera de edad Neógeno. La unidad se encuentra rellenando fosas tectónicas, con expresión morfológica de lomas de pendiente suave y medianamente disectados.

Conglomerado, Q (cg)

Depósitos conglomeráticos polimícticos depositados en facies continentales derivados principalmente de rocas ígneas y escasas rocas sedimentarias, los clastos varían en tamaño siendo estos desde arenas hasta guijarros y bloques, el grado de redondez de los fragmentos es anguloso y subanguloso mostrando escaso retrabajo, unidos por una matriz areno-arcillosa de color rojizo, también llegan a contener poco cementante calcáreo. Su morfología es de lomas de pendiente suave y ligeras ondulaciones situadas en las planicies.

Eólico, Q (eo)

Unidad formada por sedimentos eólicos recientes, depositados por la acción del viento. Su granulometría es arenosa, los fragmentos se encuentran bien redondeados y el tamaño de las partículas es homogéneo.

Sus componentes son cuarzo, feldespato y fragmentos de roca, los estratos presentan estructura cruzada. Se expresa morfológicamente en forma de dunas.

Lacustre, Q (la)

Depósitos de facies continentales lacustres que forman una secuencia alternante de arenas de grano fino, limo y arcilla, con estratos de 5 a 10 cm de espesor, en la superficie se nota la presencia de sales, las cuales han formado una costra. Estos depósitos afloran en las depresiones que dan origen a zonas de inundación.

Aluvial, Q (al)

Depósitos de origen fluvial derivados de la erosión y denudación de las rocas pre-existentes en el área, la acumulación de éstos representa el evento más joven del área y se encuentra rellenando extensos valles y fosas tectónicas, los materiales de relleno son arcillas, limos arenas y gravas, con un grado de redondez que varía de sub-redondeado a bien redondeado, en la que destacan grandes cantidades de granos de cuarzo, fragmentos de roca y feldespatos, localmente llega a presentar estratificación cruzada, así como la presencia de gradación y algunas estructuras lenticulares. Debido al acomodo de las partículas granulométricas su permeabilidad es alta, dando origen a la formación de acuíferos de tipo libre, los cuales son ampliamente explotados en la región por medio de pozos. Los espesores de estos depósitos son variables con expresión morfológica de extensas planicies que en ocasiones están disectadas por pequeños arroyuelos que desembocan en lagunas endorreicas.

ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

Toba ácida, Tom (Ta)

Unidad ígnea explosiva formada por toba ácida, toba riolítica, toba riodacítica e ignimbrita; en general la mineralogía está representada por andesina, oligoclasa y cuarzo, unidos por una matriz vítrea, la textura es mesocrystalina piroclástica. Las rocas presentan en ocasiones intercalaciones de riolita y horizontes vulcanoclásticos, cuyos fragmentos varían de 5 a 10 mm de diámetro, sub angulosos, unidos por una matriz tobácea y cementante silíceo, en ocasiones los fragmentos son de riolita y vidrio volcánico.

La unidad presenta fracturamiento vertical y subvertical, formando bloques de dimensiones variables. Sobreyace discordantemente a caliza del Cretácico e infrayace a roca ígnea y sedimentaria del Neógeno. La unidad es correlacionable con el Complejo Volcánico Superior (Mc Dowell y Clabaugh) del Oligoceno-Mioceno.

La expresión morfológica está representada por mesetas, mesetas basculadas, sierras y lomerío de pendiente suave. Aflora en un área pequeña al sur de la laguna, subyaciendo a los basaltos del Paleógeno-Neógeno.

Basalto, Ts (B)

Unidad ígnea efusiva, formada mineralógicamente por labradorita, con minerales accesorios de olivino y augita, unidos por una matriz de plagioclasas sódicas. Su textura es mesocrystalina afanítica. Sobreyace discordantemente a calizas del Cretácico Inferior y a rocas ígneas del Oligoceno-Mioceno. La morfología está representada por conos volcánicos, derrames con fase de malpaís y mesetas. Sus afloramientos se reducen a un área pequeña al suroeste de los límites del acuífero, al sur de la laguna.

Andesita, Ts (A)

Unidad ígnea efusiva formada por andesina y oligoclasa, unidas por una matriz microlítica de plagioclasas de la misma composición, se reportan minerales accesorios como augita, apatito, y zircón. Su textura es microcrystalina afanítica y porfídica. Morfológicamente forma cerros aislados y también aflora en los escarpes de las sierras al oeste de la Laguna de Jaco.

1.1. Geología estructural

Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y están representadas por derrames lávicos, conos y mesetas. Las estructuras de origen intrusivo están presentes en forma de diques y lacolitos, estos últimos deformaron a las rocas sedimentarias en forma dómica. Se reportan tres fases de deformación, una fase compresiva del Cretácico Superior-Paleógeno que plegó las secuencias sedimentarias, un posterior emplazamiento de cuerpos intrusivos, que modificaron localmente las estructuras existentes hacia formas dómicas. Finalmente, una fase de ajuste isostático, que dio origen a pliegues de fondo y fracturas con orientación NNE-SSW, del Mioceno Superior (M. Tardy, 1977, D. A. Córdoba, 1980) que se presenta en rocas ígneas, sedimentarias y volcanosedimentarias continentales del Paleógeno-Neógeno (Eoceno Mioceno Inferior).

Una fase distensiva ocurrida durante el Plioceno, está representada por fallas de extensión, que formaron la Provincia morfológica de Sierras y Cuencas.

4.2 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada tanto en este acuífero como en los acuíferos cercanos, 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 planicies y los piedemonte.

Hacia la parte baja del acuífero, donde se localiza la laguna El Jaco, predominan los depósitos lacustres y eólicos intercalados con depósitos evaporíticos. La porción inferior está alojada en rocas volcánicas: basaltos, tobas y riolitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona (Figura 3).

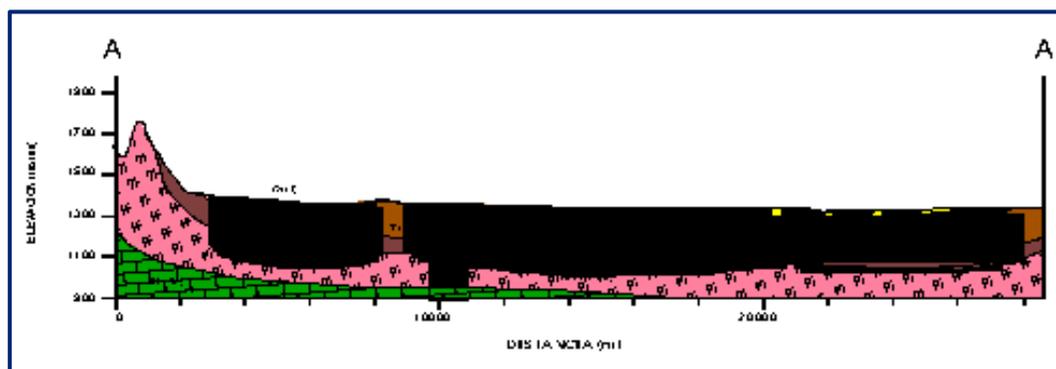


Figura 3. Sección geológica esquemática

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 intercaladas con 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, desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente 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.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero en la región se desarrolla fundamentalmente en los depósitos sedimentarios conglomeráticos de edad Cretácica. Las rocas volcánicas y calcáreas, que contienen a estos depósitos, tienen permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución por lo que también forman parte de la unidad acuífera. Por las características geológicas se considera un acuífero de tipo **libre**.

El flujo del agua subterránea tiene una dirección preferencial de suroeste a noreste, proviniendo de las elevaciones topográficas de las sierras que limitan el acuífero en su porción suroccidental y, descargando el acuífero por flujo subterráneo hacia la Laguna de los Alazanes al norte y hacia acuíferos en el estado de Coahuila al oriente. Las pequeñas lagunas que se presentan en la planicie son alimentadas por los escurrimientos superficiales durante la temporada de lluvias, no están conectadas con el sistema acuífero. La recarga al acuífero ocurre por la infiltración de agua de lluvia en las elevaciones montañosas que lo limitan en su porción suroccidental, por la infiltración del agua de las corrientes superficiales provenientes de las sierras y en menor proporción por infiltración de agua de lluvia directa sobre el valle.

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.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada durante el estudio realizado en 2010.

Sólo fue posible obtener los valores de profundidad al nivel estático en un número escaso de aprovechamientos (18) 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 el 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

Debido al escaso número de aprovechamientos, a las dificultades de acceso a ellos y al incipiente volumen de extracción del acuífero, a la fecha no se ha realizado muestreo de aguas subterráneas para su análisis correspondiente.

Durante el recorrido de campo realizado en 2010, fue posible obtener en campo algunos parámetros físico químicos del agua en solo un aprovechamiento, siendo estos los siguientes: SDT=390 ppm, CE=660 μ S/cm y T= 23 °C.

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 20 aprovechamientos, de los cuales 6 son pozos y 14 son norias. Del análisis de estado de los aprovechamientos, se encontró que solamente 11 están activos y 9 se consideran inactivos.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.03 hm³** anuales, destinados casi en su totalidad al uso pecuario.

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 de Jaco 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, 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 1,058 km² del acuífero, para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.2.1 Recarga vertical

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:

$$\mathbf{VLL = VETR + VESC + VINF} \quad \mathbf{(1)}$$

VLL= Volumen llovido;

VETR= Volumen evapotranspirado;

VESC= Volumen escurrido;

VINF= Volumen infiltrado;

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

$$\mathbf{VINF = VLL - VETR - VESC} \quad \mathbf{(2)}$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área 1,058 km² por la lámina de precipitación media anual (342.82 mm):

$$\mathbf{VLL = 1,058km^2 (0.34282 m) = 362.7 hm^3 anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 342.82 mm y temperatura de 19.31° 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 309.3 mm anuales. Si consideramos el valor de la ETR obtenida (309.3 mm anuales), el volumen de la ETR es:

$$\mathbf{VETR = 1,058 \text{ km}^2 (0.3093 \text{ m}) = 327.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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, 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:

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

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, 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.

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	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 delgadas sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

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:

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

Donde:

P = Precipitación anual

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual

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

De acuerdo con la cartografía del CONABIO escala 1:1, 000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Regosol, Litosol y Xerosol (Figura 4).

En cuanto al uso de suelo (Figura 5) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, un 2% del acuífero se puede considerar como desértico y caminos por lo que K=0.32; un 64 % de la superficie del acuífero está cubierta por matorral en suelo tipo B, con cobertura regular, por lo que se le asignó K=0.21; un 34% de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal, con cobertura regular, K=0.22.

$$\mathbf{K \text{ ponderado} = 0.02 (0.32) + 0.64 (0.21) + 0.34 (0.22) = 0.2156}$$

De esta manera, el valor de K es igual a 0.2156, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$\begin{aligned} \text{Ce} &= K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 \\ \text{Ce} &= 0.2156 (342.8-250)/2000 + (0.2156-0.15)/1.5 = 0.0537 \\ \mathbf{Ce} &= \mathbf{0.0537} \end{aligned}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.0537 (362.7 \text{ hm}^3) = 19.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

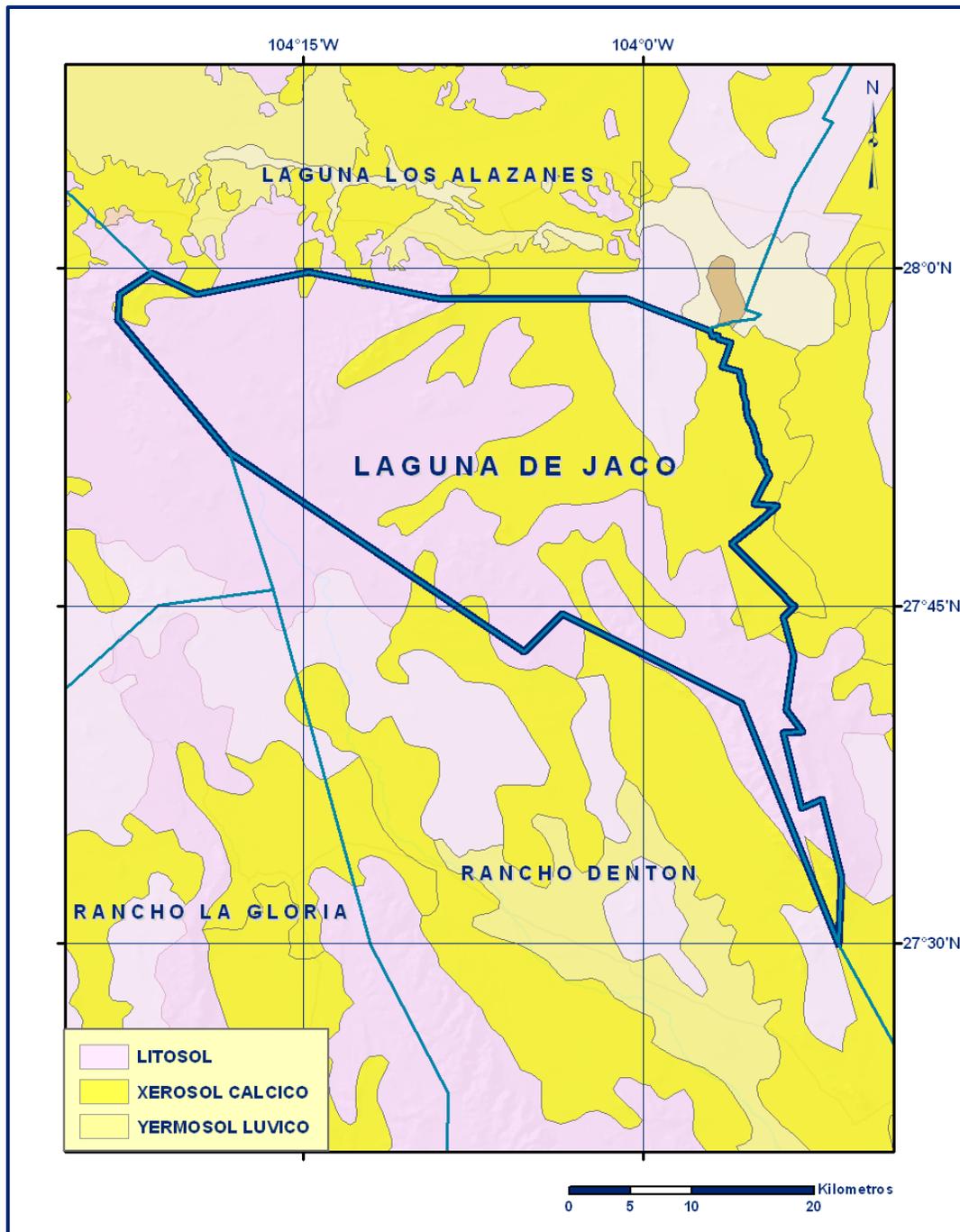


Figura 4. Tipo de suelo

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

$$V_{INF} = VLL - VETR - VESC$$

$$V_{INF} = 362.7 - 327.2 - 19.5$$

$$V_{INF} = 16 \text{ hm}^3/\text{año}$$



Figura 5. Uso de suelo

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado de 16.0 hm^3 , entre el volumen anual promedio precipitado, que es de $362.7 \text{ hm}^3/\text{año}$, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.044. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de $16.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ en los $1,058 \text{ km}^2$ de superficie del acuífero. Por lo que la **$R_v = 16.0 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

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.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **0.10 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, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **16.0 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 están comprometidos 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 Laguna de Jaco no existen descargas naturales comprometidas.

Por lo tanto, **DNC = 0.0**

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 (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 **3,066,888 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.

$$\begin{aligned} \mathbf{DMA} &= \mathbf{R - DNC - VEAS} \\ \mathbf{DMA} &= \mathbf{16.0 - 0.0 - 3.066888} \\ \mathbf{DMA} &= \mathbf{12.933112 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **12,933,112 m³ anuales.**