

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA DE MEXICANOS (0809),
ESTADO DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Clima	6
3.2 Hidrografía.....	6
3.2 Geomorfología	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía	8
4.2 Geología Estructural	10
4.3 Geología del Subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	11
5.1 Tipo de acuífero.....	11
5.2 Parámetros hidráulicos	13
5.3 Comportamiento hidráulico	13
5.3.1 Profundidad al nivel estático.....	13
5.3.2 Elevación del nivel estático	14
5.3.3 Evolución del nivel estático.....	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
7.1 Entradas.....	17
7.1.1 Recarga natural.....	17
7.1.2 Recarga inducida	17
7.1.3 Flujo subterránea horizontal.....	18
7.2 Salidas	18
7.2.1 Extracción por bombeo	18
7.2.2 Descargas naturales.....	18
7.2.3 Flujo subterráneo horizontal	18
7.2.4 Evapotranspiración.....	19
7.3 Cambio de almacenamiento.....	19
8. DISPONIBILIDAD.....	19
8.1 Recarga total media anual (R).....	19
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	20
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20

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 de Mexicanos, definido con la clave 0809 por la Comisión Nacional del Agua se localiza en la porción centro-occidental del estado de Chihuahua, cubre una superficie 1,021 km², que representa cerca del 0.4 % del territorio estatal (figura 1).

La zona ocupa principalmente el municipio de Cusihuiriachi, y en una menor proporción a los municipios de Cuauhtémoc, Guerrero, Carichi, y San Francisco de Borja.

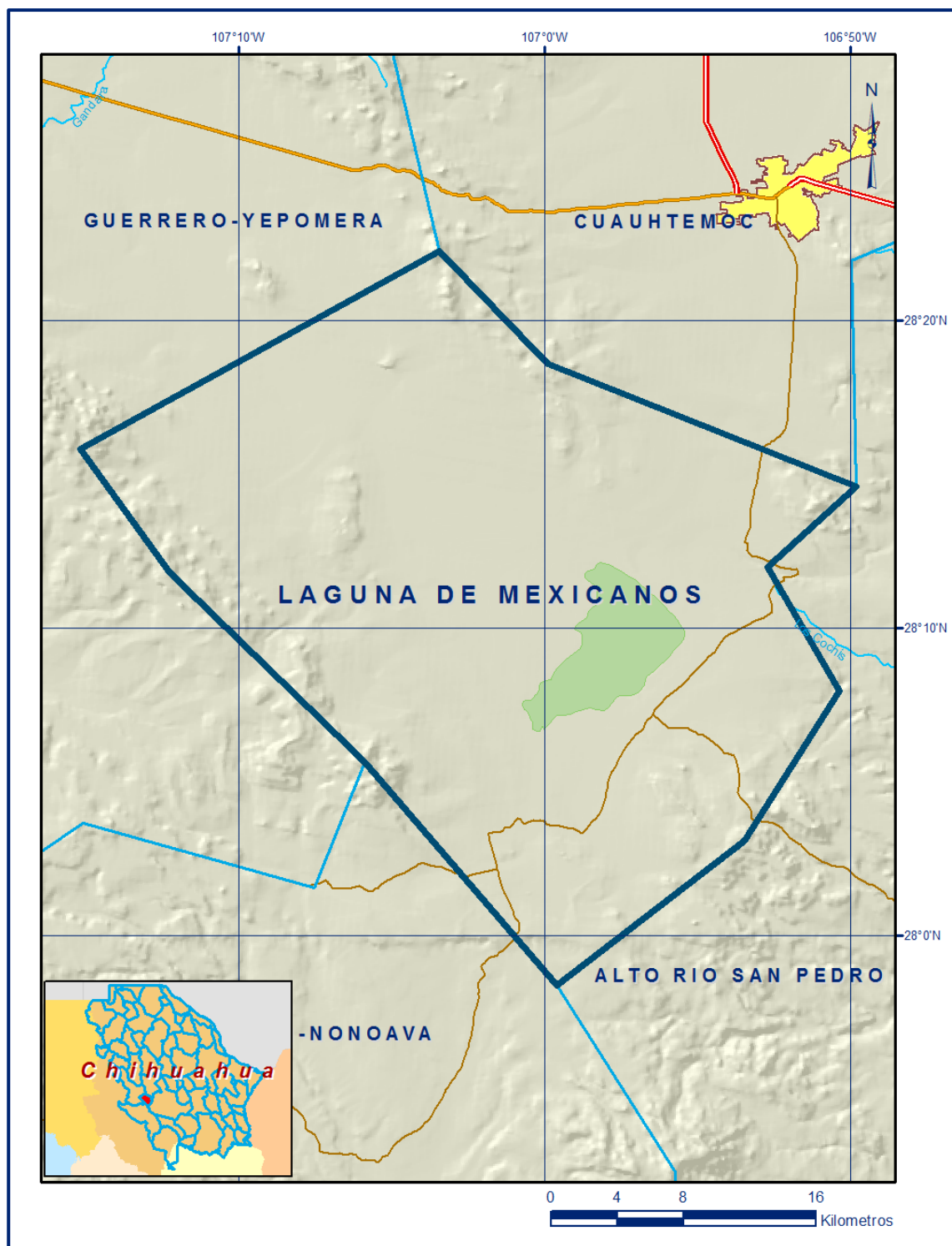


Figura 1. Localización del acuífero

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 del acuífero

ACUIFERO 0809 LAGUNA DE MEXICANOS						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	107	3	27.2	28	22	16.4
2	106	59	54.2	28	18	37.2
3	106	49	48.3	28	14	37.1
4	106	52	42.2	28	11	59.2
5	106	50	21.6	28	7	57.9
6	106	53	28.0	28	3	5.8
7	106	59	35.4	27	58	23.0
8	107	5	53.1	28	5	39.0
9	107	12	15.8	28	11	49.3
10	107	15	11.4	28	15	49.4
1	107	3	27.2	28	22	16.4

La zona se encuentra bien comunicada; la vía más importante a través de la cual se puede tener acceso a la zona es una carretera pavimentada que entronca con la carretera Federal No. 16 aproximadamente a 6 km al oeste de Ciudad Cuauhtémoc; a su vez, la carretera No. 16 tiene comunicación hacia el oriente con la capital del estado de Chihuahua y la costa del pacífico hacia el poniente; asimismo la carretera No. 16 entronca con la carretera estatal No. 65, que hacia el norte tiene comunicación con el poblado de Buenaventura. Además, la región tiene varios caminos, algunos de terracerías, que permiten la comunicación entre los poblados de la zona.

Los principales poblados son: Ojos Azules, Ciénega Ojos Azules, Buenavista, La Capilla de Los Remedios, San Bernabé, Santa Rita, Llanos de Reforma, Carbajal de Arriba, Rancho Bajío de Abajo, Bajío de Arriba, San Rafael La Laguna, El Alto, La Unión, Los Álamos, Rancho Cerro Prieto, Las Golondrinas, Chopeque y Rancho Olguín, entre otros.

La actividad de mayor importancia en la región es la agricultura, siendo una parte de las áreas de cultivo de temporal y otra parte es regada con aguas subterráneas; los principales cultivos son avena, frijol, maíz, trigo, sorgo y alfalfa. La ganadería es otra actividad que se desarrolla en la región.

Zonas de Disponibilidad

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

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En 1982 se realizó un estudio geohidrológico cuantitativo de la zona Laguna de Mexicanos, estado de Chihuahua. Este estudio se desarrolló para la zona de Cuauhtémoc-Laguna de Mexicanos, comprende en forma parcial a los municipios de Cuauhtémoc, Guerrero, Bachiniva, Carichic y Riva Palacio.

El objetivo de este estudio fue conocer el grado de explotación de los acuíferos, determinar el comportamiento y evolución de los niveles del agua, evaluar la potencialidad del acuífero para determinar los volúmenes disponibles de agua y finalmente definir la calidad del agua y recomendar zonas con buena calidad, a fin de planear su aprovechamiento racional.

Este estudio fue motivado por el incremento de aprovechamientos de agua subterránea que se dio en forma no planeada, sobre todo en los campos menonitas. Como antecedente se tiene que el desarrollo agrícola de la región, el cual se basa en gran medida en la explotación del agua subterránea, iniciada en 1922, a través de pozos con profundidades no mayores a los 50 metros.

En 1991 se realizó por parte de CNA, un estudio de actualización geohidrológica y de modelación, que fue contratado por la necesidad de contar con los elementos técnicos para tomar decisiones ante los evidentes síntomas de una sobreexplotación del sistema. El área de estudio cubrió una extensión aproximada de 7,000 km², comprendiendo a los valles de Cuauhtémoc y Laguna de Mexicanos. Dentro de los resultados del modelo de manejo se presenta un esquema de bombeo "óptimo" de acuerdo con el método programación lineal, estableciendo para los valles de Bustillos y Reforma una extracción de 105 Mm³/año contra los 136 hm³/año que actualmente se extraen, y para el valle de Laguna de Mexicanos, una extracción de 25 Mrn³/año contra los 9 hm³/año que se bombean, según el año de ese estudio.

El estudio más reciente se realizó en 1998, mismo que contempla la modelación del acuífero y el diseño de la red de monitoreo; sus resultados más relevantes fueron la verificación y actualización del censo de aprovechamientos, realizado como parte de los trabajos de este estudio. Consignan un total de 4 611 obras destinadas al aprovechamiento del agua subterránea en el valle de Cuauhtémoc, con una extracción de 183.2 hm³/año para principios de 1997.

3. FISIOGRAFÍA

De acuerdo a la clasificación de las provincias fisiográficas realizada por INEGI, la zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la Provincia Fisiográfica de Sierra Madre Occidental constituida en su mayor parte por rocas volcánicas del Terciario. De acuerdo con la misma clasificación, el área de estudio queda incluida prácticamente en la subprovincia de Sierras y Llanuras Tarahumaras y en una pequeña proporción en la subprovincia Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses.

3.1 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación de las estaciones climatológicas Cd. Cuauhtémoc (período 1980-1997) y Cuauhtémoc FIMSA (período 1976-1993), que están dentro del área de influencia de la zona de estudio, y con apoyo en la carta de climas, se observa que la zona estudiada se caracteriza por el tipo de clima BSi wk (x), que corresponde a un clima semiseco y templado, con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal que varía entre 5 y 10.2.

Temperatura media anual

La temperatura media anual es de 13.20 C; el período caluroso del año es de junio a septiembre, siendo enero el mes más frío.

Precipitación media anual

La precipitación promedio anual es de 530.8 mm/año; el período de lluvias, en general, es de junio a octubre, siendo marzo el mes más seco.

3.2 Hidrografía

El área corresponde a una cuenca cerrada de forma irregular; hacia el noreste colinda con la cuenca de Laguna de Bustillos, hacia el este con la cuenca del Arroyo Cieneguita, origen del río San Pedro; al oeste con los orígenes del río Papigóchic y al sur con el río Carichic; al suroeste con los orígenes del río Conchos.

La zona de estudio queda limitada al este y sureste por la sierra Álamo Mocho y la sierra Cari-chic; al oeste por la sierra San José, al norte se ubica el cerro El Venado.

Región Hidrológica

La zona de Laguna de Mexicanos pertenece a la Región Hidrológica No. 34 "Cuencas Cerradas del Norte".

Subregión

Cuencas Cerradas del Norte.

Cuenca

El área en estudio está localizada dentro de la cuenca Laguna Bustillos-Mexicanos.

Subcuenca

El área en estudio está localizada dentro de la subcuenca Laguna de Mexicanos. Además de la Laguna de Mexicanos, dentro de la zona existe una laguna localizada hacia el noroeste llamada Laguna San Rafael, alimentada por algunos afluentes que nacen en la sierra de Las Charamuscas, partiendo de ella un desagüe natural que da lugar a una corriente que va en dirección al sureste, directamente a la Laguna de Mexicanos. La Laguna de Mexicanos es alimentada principalmente por los arroyos Los Álamos y el arroyo El Bajío, y llega almacenar un volumen máximo del orden de 45 hm³/año, teniendo una profundidad media aproximadamente de 1.3 m.

El patrón de drenaje en la región es de tipo paralelo, dendrítico y radial. En general no existen corrientes de régimen permanente, debido a que la precipitación no es muy abundante y únicamente se llegan a formar corrientes torrenciales que duran unas cuantas horas después de terminadas las lluvias.

3.2 Geomorfología

Geomorfológicamente la zona se encuentra en una etapa de madurez franca, observándose que existe una avanzada erosión de las estructuras rocosas, definiéndose perfectamente por ello tres unidades geomorfológicas, las que a continuación se describen.

Unidad montañosa. Corresponde a las partes más elevadas de la región y está constituida por rocas ígneas extrusivas. Las geoformas representativas de esta unidad son sierras de topografía irregular, en general muy accidentada con grandes acantilados e innumerables fracturas, sin un patrón de orientación definido.

Unidad de lomeríos. Las formas características del relieve de esta unidad son pequeñas elevaciones de pendientes suaves, localizadas en las estribaciones de las sierras. La mayoría de estos lomeríos los constituyen principalmente conglomerados, producto de la erosión de rocas volcánicas preexistentes. El drenaje característico de esta unidad es del tipo dendrítico, presentándose bien definido y de poca profundidad.

Unidad de planicie aluvial. Se denominó con este nombre a las formas de relieve constituido por los depósitos del valle, que presentan pendientes suaves, apenas ligeramente inclinadas desde las sierras hacia las partes centrales de los valles.

Esta unidad se identifica como zona acumulativa de los materiales no consolidados, estando formada por cantos rodados, gravas, arenas, arcillas y limos, los cuales han sido originados por agentes del intemperismo y la erosión, siendo transportados por las corrientes torrenciales y el viento hasta su lugar de depósito.

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

La zona considerada está compuesta por unidades geológicas cuyas edades abarcan desde el Terciario Inferior al Reciente (Figura 2), y está integrada por rocas volcánicas y rocas sedimentarias continentales.

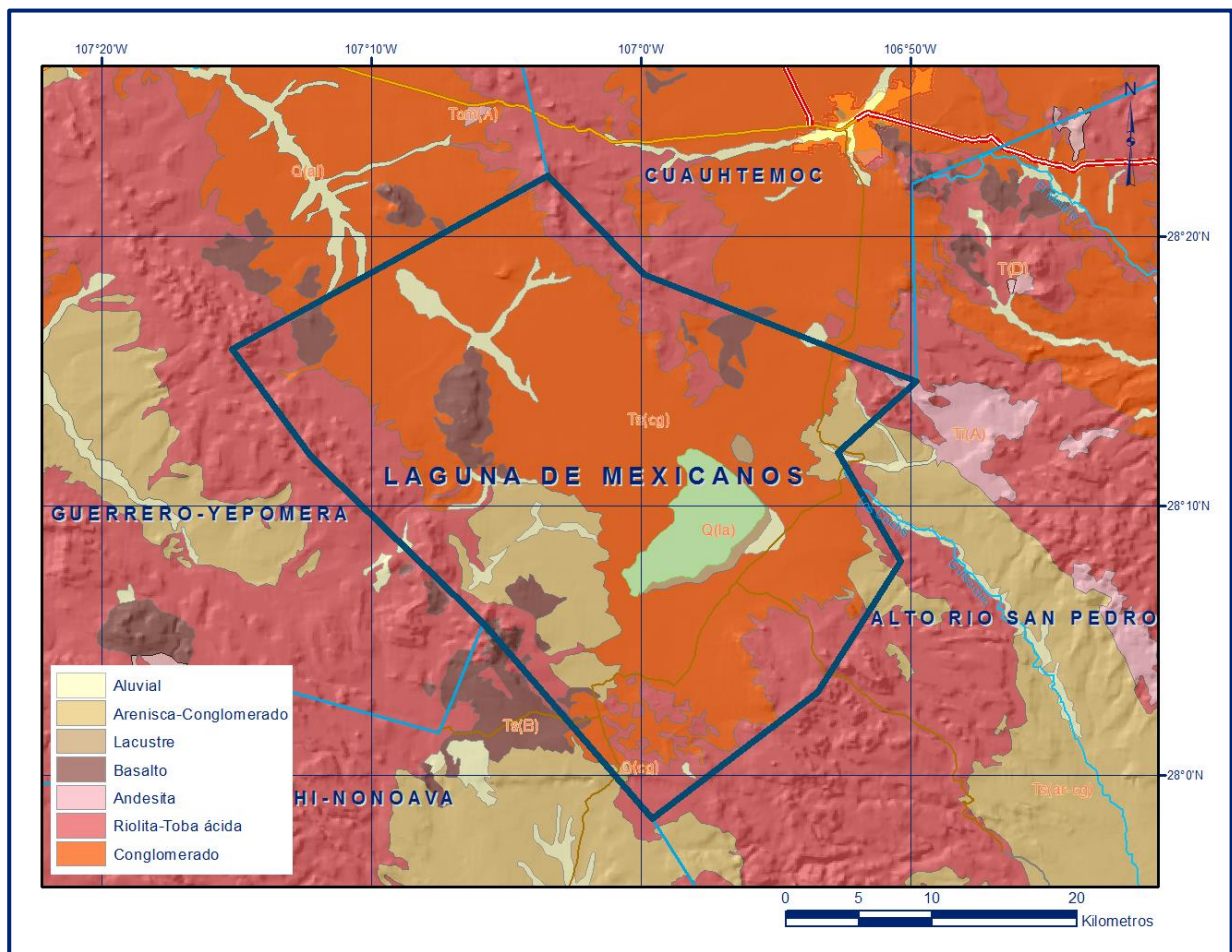


Figura 2. Geología general del acuífero

Ignimbritas dacíticas. Se agruparon con este nombre a todas aquellas rocas que aun cuando tienen un origen volcánico-piroclástico, presentan textura fluidal y un soldamiento que va de mediano a fuerte e inclusive en las zonas que se manifiesta un denso soldamiento, se observan pseudoestratificaciones y sistemas de diaclasas verticales que se han originado por enfriamiento y forman estructuras columnares fracturadas. La coloración del cuerpo litológico es rojizo con algunas tonalidades amarillentas y grisáceas. Estas rocas se pueden observar distribuidas en las sierras de la zona de estudio.

Tobas dacíticas. Las rocas que definen esta unidad se clasifican como tobas de caída libre, presentan pseudoestratificación y una gradación granulométrica inversa, es decir, en su parte inferior se observan granos finos y hacia arriba va aumentando de tamaño hasta tener grandes bloques brechados, en ocasiones cubiertos por una delgada capa vítrea. La coloración de este conjunto es rojizo amarillento. En el área de estudio se presentan principalmente coronando las partes altas de las sierras y se les observa sumamente alteradas y fracturadas, siendo por ello una de las fuentes importantes de aporte de materiales granulares para los valles.

Basaltos. Se presentan en derrames de poco espesor. Son de poco interés hidrogeológico por su escaso desarrollo; se puede observar al norte de la laguna San Rafael.

Conglomerados. La edad de esta unidad posiblemente data desde el Terciario Superior, sin embargo, también se le puede asignar una edad del Cuaternario Inferior. Este conjunto consiste de dos miembros: el inferior constituido por un conglomerado compacto, formado por clásticos volcánicos redondeados y subredondeados, con horizontes areno-arcillosos semicompactos, que alcanzan espesores hasta de 8 m. El miembro superior consiste de conglomerados con gran espesor, sus clastos están bien redondeados y empacados en arena, su grado de compactación es menor que el del miembro inferior y no presenta horizontes areno-arcillosos. Su distribución en la zona de estudio es amplia, ocupando las faldas de las sierras Carichic y San José, afloran al sur y oriente del Lago de Mexicanos; también se encuentra en otras áreas como en las inmediaciones del poblado de Carbajal de Abajo.

Depósitos lacustres. Están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas formando depósitos que al pie de las sierras se observan los remanentes que han quedado de la erosión, los cuales se clasifican como conglomerados y areniscas.

Siguiendo por los arroyos que están al pie de las sierras y que conducen a las partes centrales del valle, los depósitos van graduando a sedimentos más finos (limos y arcillas). En general estos sedimentos son producto de erosión de las rocas ígneas extrusivas que se han descrito anteriormente y su gradación depende del transporte que hayan sufrido hasta su depósito. La distribución que presentan en el área es amplia en todas las partes planas a partir de las sierras, sólo que se encuentran cubiertas por los depósitos recientes y únicamente se aprecian en las inmediaciones de la Laguna de Mexicanos.

Depósitos aluviales. Son materiales formados por gravas, arenas, limos y arcillas sin consolidar con una marcada predominancia de estas últimas hacia las partes más bajas y planas. Los sedimentos aluviales en el área que ocupa este estudio se encuentran cubriendo a los depósitos lacustres y su espesor es sumamente variable, pudiendo alcanzar varias decenas de metros. Estos depósitos son el resultado de la erosión de las rocas volcánicas y transportados hasta el lugar de acumulación, por el viento y los pocos arroyos existentes.

4.2 Geología Estructural

El marco tectónico estructural que actualmente presenta la zona de estudio tuvo origen en el Terciario Inferior, en la etapa que continuó después de la Orogenia Laramide; dicho evento tectónico se caracteriza por el desarrollo de esfuerzos de tensión, los cuales provocan zonas de debilidad que aprovecha el vulcanismo para su aparición, y al mismo tiempo, las rocas ya existentes sufren acomodamientos.

En el área que ocupa el estudio, durante la Orogenia Laramide debieron generarse grandes fisuras, ya que no existen evidencias de aparatos volcánicos, por donde ascendió el magma ácido, el cual se depositó en medios acuosos, formando las rocas más antiguas que afloran (ignimbritas).

Posteriormente, en la etapa de acomodamiento, se originaron nuevas zonas de debilidad por donde apareció el vulcanismo más reciente (tobas, andesitas y basaltos), al mismo tiempo que se formaban grandes cuencas rodeadas por sierras altas y más o menos anchas, en donde se acumularon grandes volúmenes de materiales que se erosionaron de las sierras, desarrollándose los depósitos conglomeráticos en las márgenes de las cuencas con gradación de sedimentación fina hacia el centro de las cuencas.

Actualmente se considera que existen superficialmente dos cuencas cerradas independientes, una formada por el Valle de Mexicanos y la otra por el valle de Cuauhtémoc, las que están separadas por el parteaguas formado por el depósito conglomerático compacto e impermeable que existe entre ellas.

4.3 Geología del Subsuelo

De acuerdo con estudios de geofísica del subsuelo, en la parte baja del valle, existe de la superficie del terreno hacia abajo una primera capa de espesor menor de 5 m, con resistividades de 20 a 70 ohms-metro que se correlaciona con materiales granulares de origen aluvial drenados.

Debajo de la anterior capa existe una segunda capa con resistividades del orden de 15 a ohms-metro que se correlaciona con depósitos lacustres, constituidos por conglomerados y areniscas, su permeabilidad es variable de acuerdo con el contenido de finos; subyaciendo a la capa anterior se encuentra la tercera capa con espesores de 50 a 250 m de materiales con resistividades de 40 a 105 ohms-metro y se correlaciona con un conglomerado compuesto por elásticos volcánicos redondeados y subredondeados, compactos, su permeabilidad varía de baja a media, de acuerdo a su contenido de finos.

Existen debajo de la capa anterior espesores de unos cuantos metros a un máximo de 600 m de materiales con resistividades de 18 a 30 ohms-metro, compuestos por clastos bien redondeados empacados en arena con escaso contenido de finos, por lo que su conductividad hidráulica es buena. Asimismo, debajo de la tercera capa se detecta una capa de resistividades de 360 a 900 ohms-metro y se correlaciona con la roca base de los sedimentos granulares, compuestos por ignimbritas dacíticas, tobas dacíticas, y en algunos sitios basaltos.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con los cortes geológicos, se determina que el acuífero está formado por depósitos aluviales y lacustres de grano fino a grueso, y arcillas, arenas y gravas; por conglomerados de gravas y arenas empacadas en un cementante arcilloso, con intercalaciones de derrames de rocas volcánicas, compactas o fracturadas, esto es, está constituido en medios granular y fracturado.

Según la estratigrafía descrita se definen varias unidades geohidrológicas o hidroestratigráficas, a saber:

Unidades permeables. Integra a los depósitos recientes de pie de monte y aluviales, así como los depósitos lacustres. Los de pie de monte litológicamente están constituidos por bloques, cantos rodados, gravas, arenas y finos que presentan un grado de consolidación variable, dependiendo del espesor acumulado y el grado de cementación; los clásticos componentes de los depósitos aluviales también consisten de gravas, arenas y finos. Ambas unidades litológicas presentan condiciones excelentes de porosidad y permeabilidad, funcionando la primera como zona de recarga y la segunda conteniendo al acuífero principal de la región. Los depósitos lacustres se presentan hacia el centro del valle, compuestos por materiales finos que van desde las arenas a los limos y arcillas que conservan su porosidad y permeabilidad primarias, que también contienen acuíferos.

También dentro de esta unidad hidroestratigráfica permeable deben considerarse a las ignimbritas y tobas, pues presentan características litológicas y estructurales semejantes, tales como pseudoestratificación y un intenso fracturamiento. Cubren superficialmente parte del área de estudio propiciando la infiltración del agua de lluvia y de las corrientes superficiales, y en el subsuelo debe subyacer a los conglomerados, donde funcionan posiblemente como acuífero semiconfinado.

Unidades impermeables. Integra a los conglomerados y depósitos de ignimbritas y tobas. Los conglomerados más antiguos se encuentran consolidados, formando pseudoestratos de hasta 8 m de espesor, además de contener horizontes arcillo arenosos, y que subyacen a los depósitos lacustres más recientes; No presenta buenas condiciones de porosidad y permeabilidad, y consecuentemente, para efectos prácticos se le considera impermeable, actuando como barreras al paso del agua subterránea, tanto vertical como lateralmente.

Funcionamiento de los acuíferos

La recarga natural del acuífero proviene de una parte del agua de lluvia que se precipita en las serranías, y que por medio del fracturamiento de las rocas que las constituyen, fluye hacia el acuífero. En las planicies, la recarga se realiza con una fracción de agua precipitada en ella e infiltrada al subsuelo debida a la buena permeabilidad de las formaciones que la constituyen; esta última alimentación se realiza básicamente en forma vertical.

La descarga natural del acuífero ocurre en parte por flujo horizontal subterráneo, que tiene lugar hacia el oriente, en dirección al arroyo Santa Rita, formador del río San Pedro; esta descarga se verificó por el manantial localizado en la población de Santa Rita. De acuerdo con la piezometría existente del año de 1982, el acuífero debe tener una descarga natural de agua subterránea a través de la Laguna de Mexicanos.

La descarga del acuífero que se lleva a cabo de manera artificial, se realiza a través de bombeo en pozos y norias.

5.2 Parámetros hidráulicos

Las características hidráulicas del acuífero se determinaron mediante la interpretación de dos pruebas de bombeo de corta duración realizadas en 1982, obteniéndose valores de $0.82 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y $0.76 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en etapa de abatimiento y de $0.61 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ y $0.81 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en etapa de recuperación; estos valores se consideran representativos de la región; existen otros resultados de una prueba de bombeo efectuada en un aprovechamiento subterráneo ubicado al sur de Ciudad Cuauhtémoc, la cual colinda con la zona en estudio y que presenta características semejantes pues las transmisividades obtenidas de dicha prueba son: $0.16 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en etapa de abatimiento y de $0.19 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en etapa de recuperación. Teniendo en cuenta el tipo y características de los materiales que constituyen el subsuelo de la región, el acuífero se consideró que funciona como **libre**.

5.3 Comportamiento hidráulico

La medición de niveles del agua se inició en agosto de 1981 y en el año de 1982 se efectuó la medición de niveles estáticos en 52 pozos piloto.

5.3.1 Profundidad al nivel estático

Con la información piezométrica correspondiente al año de 1982, se elaboró el plano de curvas de igual profundidad del nivel estático, que se considera representativo de las condiciones actuales, debido a que el ritmo de abatimiento según datos de julio de 1997 es de 0.2 m/año, figura 3. Las profundidades en la parte central y alrededor de la Laguna de Mexicanos son del orden de 10 a 20 metros; valores de 30 m se extienden en el área baja del valle; asimismo existen valores de 10 a 20 m de profundidad en las inmediaciones de Santa Rita; de 15 a 30 m en los alrededores de la Laguna Arzate. Los valores más profundos del nivel estático, que oscilan entre 40 a 70 m, se localizan entre el poblado de Bajío de Arriba y la presa San Rafael de Laguna, al sur del poblado de Alto de Chávez y en las cercanías de Ojos Azules.

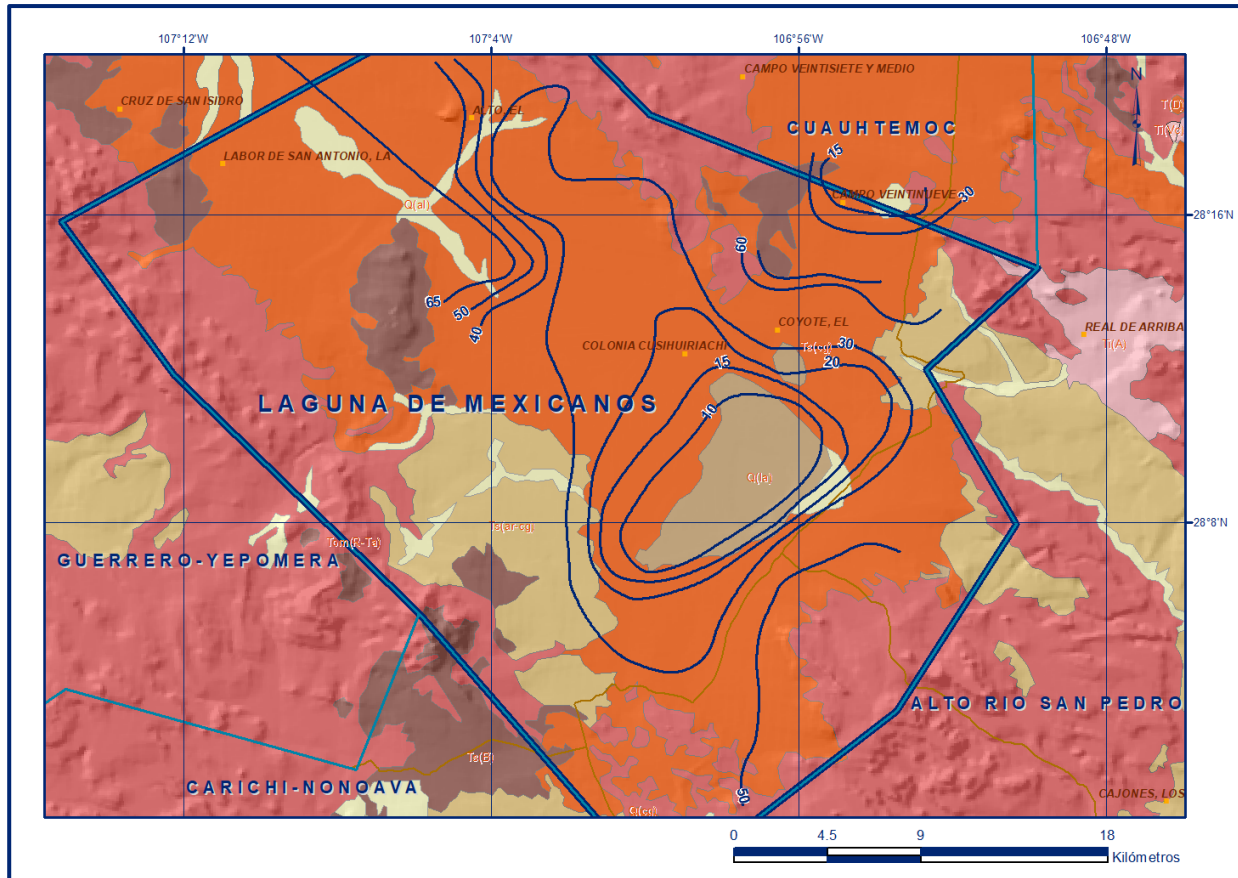


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (1982)

5.3.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo a las equipotenciales del plano de curvas de igual elevación del nivel estático de 1982, figura 4, el acuífero recibe una recarga de la sierra San Juan que se ubica al norte de la zona de estudio y de la sierra San José ubicada al Oeste; esta recarga proveniente de las sierras se dirige hacia la planicie donde se ubica la Laguna de Mexicanos, y a partir de esta área el agua subterránea fluye hacia el oriente, mostrando una salida subterránea hacia las barrancas que se localizan en la sierra Álamo Mocho. En la cuenca de estudio se define un parteaguas hidrodinámico a la altura de la laguna San Rafael, el cual tiene dos direcciones de flujo, uno en dirección noroeste hacia el río Carpio y la otra hacia la Laguna de Mexicanos.

De igual manera, en las mediaciones de La laguna de Arzate se define otro parteaguas subterráneo, un flujo se dirige a cuenca de Cuauhtémoc y otro con dirección al sur, que posteriormente se desvía hacia Santa Rita, donde se lleva a cabo la salida horizontal subterránea antes mencionada.

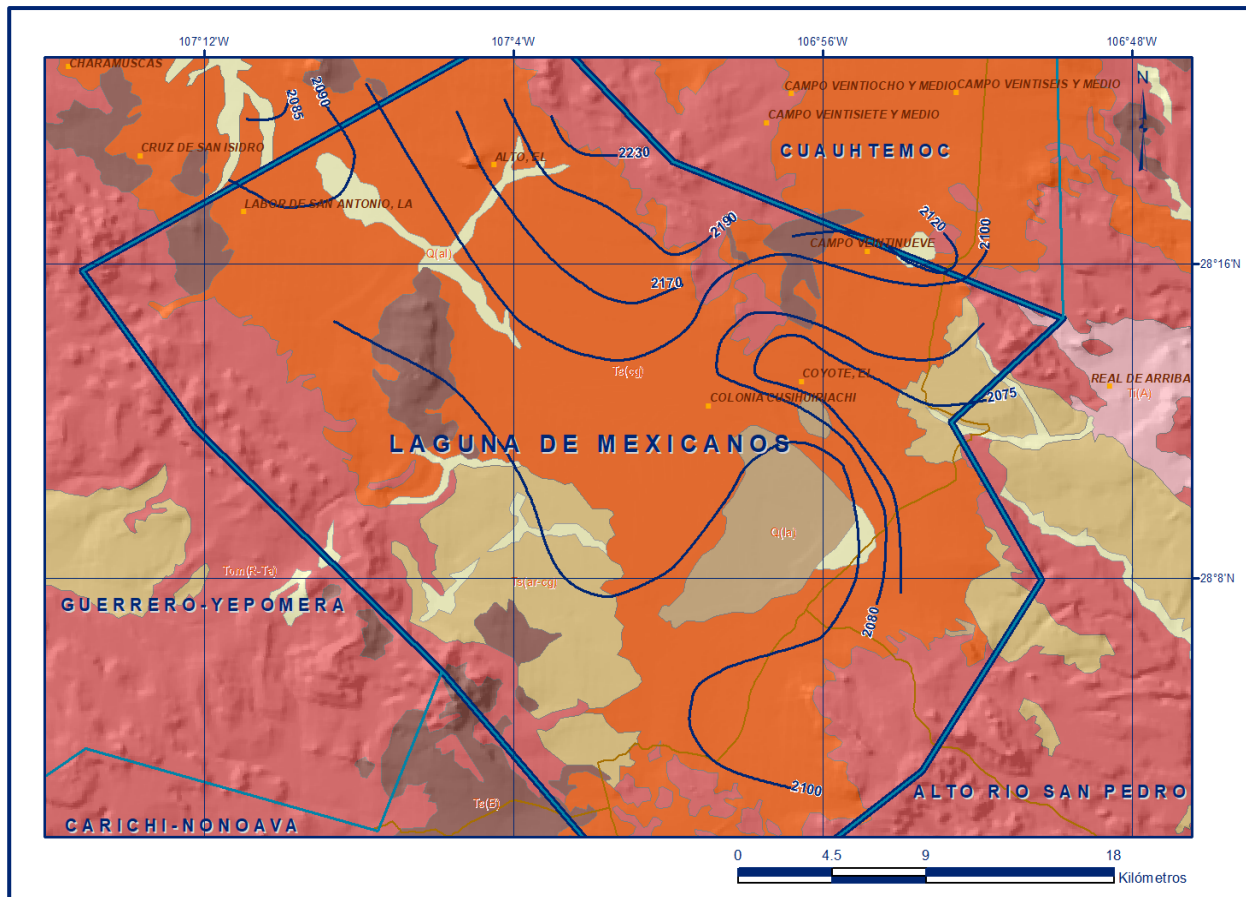


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (1978)

5.3.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático del acuífero, correspondiente al periodo 1981-1982, no presenta abatimientos en el área configurada, es más, se aprecian recuperaciones (figura 5). De acuerdo a información que dispone la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua, en el acuífero se tiene una variación anual del nivel estático de 0.2 m/año.

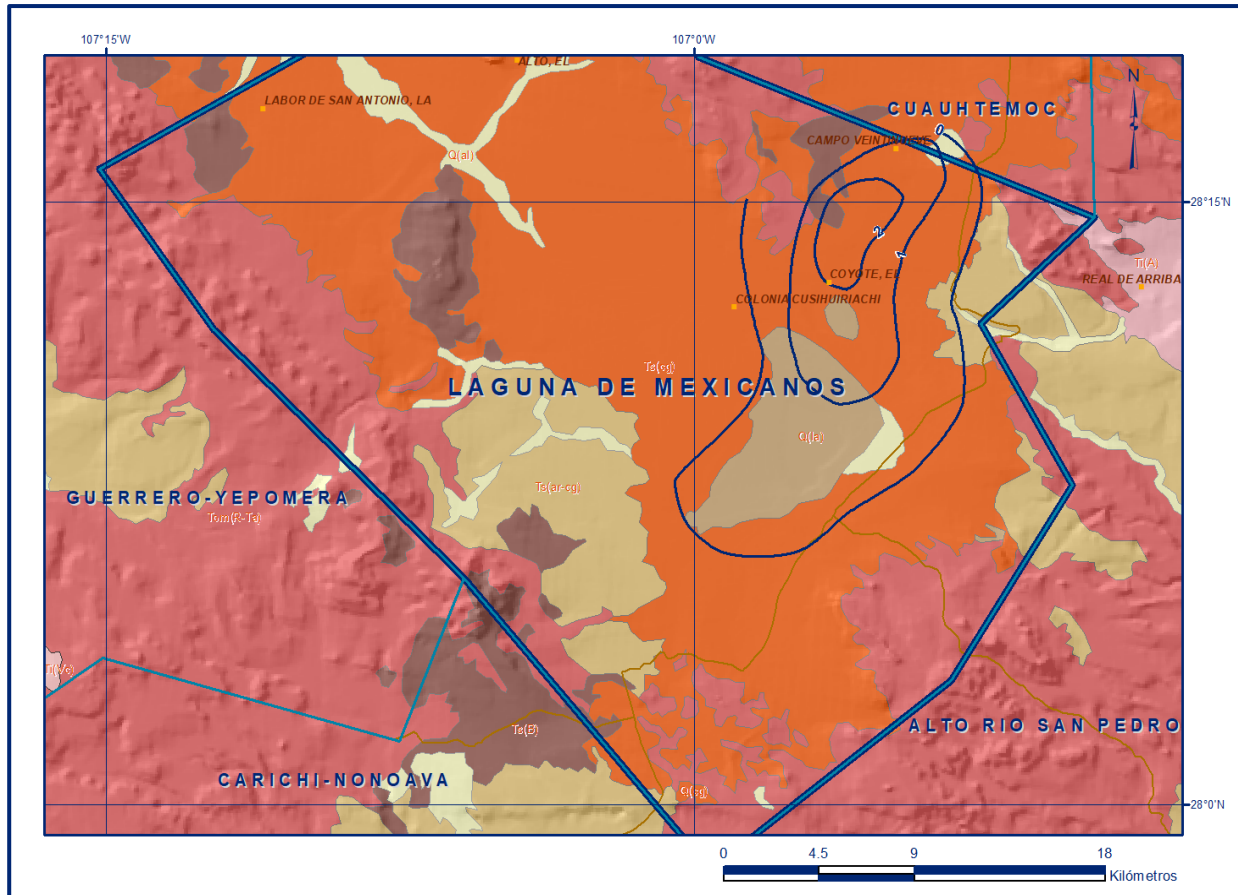


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (1988-1997)

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo a la información del año de 1997 existente en la Gerencia de Aguas de la CNA, en la zona de la Laguna de Mexicanos hay 388 pozos, de los cuales y a través de 359 pozos se extraen **24.6 hm³/año** de agua subterránea.

De los 24.6 hm³/año, de acuerdo a la tabla de evaluación de la extracción de acuerdo al uso del agua, se extraen para uso agrícola 23.19 hm³/año, por medio de 202 pozos; para uso doméstico y abrevadero se extraen 1.3 hm³/año por medio de 153 pozos, y para uso público urbano sólo se extraen 0.02 hm³/año con 4 pozos.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El área donde se tiene información piezométrica considerada para la realización del balance es de 586 km². A partir de la configuración de elevación del nivel estático del año de 1982, se trazó la red de flujo y área de balance.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

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:

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

7.1 Entradas

La recarga total está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida por la aplicación de agua en las actividades humanas, tanto de origen superficial como subterránea.

7.1.1 Recarga natural

La recarga natural del acuífero corresponde básicamente a los volúmenes infiltrados por agua de lluvia y recarga horizontal proveniente de las zonas de recarga. La recarga por lluvia es de 18.6 hm³/año, al considerar un área de 586 km², una precipitación de 530.8 mm/año y un coeficiente de infiltración de 0.06.

Respecto a la recarga por infiltración de agua de los escurrimientos superficiales naturales, no existen corrientes importantes y permanentes que se generen en la cuenca, o que provengan de otras cuencas vecinas, y que contribuyan a la recarga del acuífero.

7.1.2 Recarga inducida

El volumen de agua que anualmente retorna al acuífero como consecuencia del exceso de riego que se realiza en el área, se calculó multiplicando al volumen aplicado al riego (23.2 hm³/año, más 1.3 del volumen destinado a otros usos), por un coeficiente de infiltración (I2), de 0.2, resultado un volumen de recarga de **4.9 hm³/año**. Al mismo tiempo, el uso público urbano origina una recarga al acuífero por pérdidas en redes de distribución básicamente, el cual se calculó aplicando un coeficiente de 0.2 (I3), al volumen usado de 0.02 hm³/año, resultando una recarga inducida despreciable.

7.1.3 Flujo subterránea horizontal

De acuerdo con la geología y la piezometría existentes, no se tienen entradas por flujos provenientes de acuíferos contiguos; el agua que fluye de las sierras y que entra al acuífero en forma horizontal por el pie de las mismas, proviene de las precipitaciones ocurridas en las partes altas; en este sentido una parte del volumen de lluvia que recarga al acuífero se calculó como una entrada horizontal (Eh).

El cálculo de entradas por flujo horizontal (Eh), se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático del año 1982, y la transmisividad obtenida a través de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona de estudio, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q=T*B*i$$

Donde:

Q = gasto que pasa por un determinado canal de flujo;

T = transmisividad;

B = ancho de la celda;

i = gradiente hidráulico

El gasto obtenido en un total de 9 celdas de entrada considerada fue de **11.6 hm³/año**.

7.2 Salidas

7.2.1 Extracción por bombeo

El volumen total extraído del acuífero a través del bombeo y para todos los usos, resultó de **24.6 hm³/año**.

7.2.2 Descargas naturales

En la zona no existen manantiales ni corriente con gastos base, ya que el acuífero se ubica en una cuenca cerrada.

7.2.3 Flujo subterráneo horizontal

Para este acuífero, de acuerdo a la piezometría, particularmente al plano de curvas de igual elevación del nivel estático de 1982, se concluye que el agua subterránea de esta zona tiene una salida horizontal, la cual se calculó con base a la Ley de Darcy, obteniéndose un valor de **5.5 hm³/año**.

7.2.4 Evapotranspiración

Debido a que existen en el acuífero en estudio, profundidades del nivel estático cercanas a 10 m y rodeando a la Laguna de Mexicanos, el valor obtenido por evapotranspiración resultó de **10.7 hm³/año**, al considerar una evaporación potencial media anual del orden de 3 150.7 mm aplicada en un área de 340 km² por un coeficiente de 0.01 para la evaporación.

7.3 Cambio de almacenamiento

Para el cálculo de este término se consideró la evolución piezométrica del acuífero considerando el promedio anual de abatimiento de 0.2 m/año, que se indica en el inciso 5.3.3, valor que aplicado al área de valle (586 km²), resulta un volumen drenado (Vd) de 117 hm³/año, lo que aplicado al coeficiente de almacenamiento de 0.0487, resulta un cambio de almacenamiento de **-5.7 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:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

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

Para este caso, su valor es de **35.1 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

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 acuífero en el estado de Chihuahua, existe una descarga natural comprometida de **0.0 hm³/año**.

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 **55,870,298 m³** anuales, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 35.1 - 0.0 - 55.870298 \\ \text{DMA} &= -20.770298 \text{ hm}^3/\text{año}.\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **20,770,298 m³ anuales**.