

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNAS (1449), ESTADO DE  
JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
	Antecedentes.....	1
1.1	Localización.....	2
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1	Provincias fisiográficas.....	5
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	9
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
4.1	Estratigrafía.....	11
4.2	Geología estructural.....	12
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
5.1	Tipo de Acuífero.....	13
5.2	Piezometría.....	13
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>16</b>
7.1	Entradas.....	16
7.2	Salidas.....	16
7.3	Cambio de almacenamiento.....	18
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>19</b>
8.1	Recarga total media anual (R).....	20
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	20
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	20
8.4	Disponibilidad media anual de aguas subterráneas.....	21
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>22</b>

## **1 GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-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 provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea.

Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDA.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

## 1.1 Localización

El acuífero Lagunas, definido con la clave 1449 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sureste del Estado de Jalisco entre los paralelos  $20^{\circ} 27'$  y  $19^{\circ} 46'$  y los meridianos  $103^{\circ} 42'$  y  $103^{\circ} 12'$ . Limita al norte con los acuíferos Ameca, San Isidro y Huejotitlán; al sur con Jiquilpan, Ciudad Guzmán, Unión de Guadalupe y Aguacate; al este con los acuíferos Tizapan y Chapala y al oeste con Autlán y Tapalpa. Tiene una extensión superficial incluyendo la zona de recarga aproximada de  $2136.77 \text{ km}^2$



Figura 1.- Localización del Acuífero.

Geográficamente, el área de acuífero se encuentra dentro de la poligonal cuyos vértices se presentan en la tabla 1.

<b>ACUIFERO 1449 LAGUNAS</b>						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	10	17.6	19	59	4.9
2	103	15	15.3	19	57	8.9
3	103	16	14.4	19	56	25.1
4	103	21	29.4	19	58	6.5
5	103	26	1.7	20	2	33.4
6	103	28	31.1	20	0	52.0
7	103	29	45.9	19	58	1.2
8	103	30	7.2	19	56	57.1
9	103	29	29.9	19	53	44.9
10	103	28	52.5	19	52	8.8
11	103	31	11.3	19	49	1.9
12	103	34	7.5	19	47	25.8
13	103	36	42.3	19	46	32.5
14	103	41	30.6	19	50	6.0
15	103	41	41.3	19	55	53.0
16	103	39	59.8	20	2	38.8
17	103	37	25.0	20	3	42.8
18	103	37	35.7	20	5	13.6
19	103	40	5.2	20	7	37.7
20	103	40	15.9	20	10	17.9
21	103	42	45.3	20	14	23.5
22	103	41	30.6	20	15	43.6
23	103	40	53.2	20	20	58.6
24	103	43	6.7	20	23	33.4
25	103	42	2.6	20	24	58.8
26	103	43	12.0	20	26	40.2
27	103	42	29.6	20	28	41.1
28	103	40	48.8	20	27	49.1
29	103	40	2.9	20	26	54.1
30	103	36	41.1	20	28	19.7
31	103	35	36.9	20	29	2.5
32	103	35	6.4	20	28	59.4
33	103	35	9.4	20	27	36.9
34	103	32	15.2	20	24	54.9
35	103	30	28.2	20	24	15.1
36	103	32	12.1	20	23	56.8
37	103	33	1.0	20	22	12.8
38	103	30	49.6	20	18	29.7
39	103	29	42.3	20	17	37.7
40	103	27	9.5	20	14	25.1
41	103	25	46.9	20	12	19.8
42	103	23	23.2	20	11	0.3
43	103	22	0.7	20	9	53.0
44	103	18	20.6	20	10	20.5
45	103	16	27.5	20	9	50.0
46	103	15	8.0	20	8	48.8
47	103	12	44.3	20	8	15.2
48	103	11	55.4	20	7	56.9
49	103	13	2.7	20	6	34.3
50	103	12	4.6	20	4	47.3
51	103	13	8.8	20	1	1.1
52	103	10	29.8	20	0	27.5
1	103	10	17.6	19	59	4.9

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

La zona del acuífero Incluye los municipios de Concepción de Buenos Aires, Teocuitatlán de Corona, Zacoalco de Torres, Villa Corona, Techaluta de Montenegro, Amacueca, Sayula, Atoyac. A grandes rasgos sus límites son:

Al Sur el Cerro el Ixcapil y Cerro los Huajes, al Este Sierra Tapalpa, al Oeste Sierra el Tigre y Sierra la Difunta, al Norte Cerro Coronilla, Cerro Viejo y Cerro el Chino.

Las poblaciones más importantes que se encuentran dentro de los límites del acuífero son: Sayula, Zacoalco y Acatlán de Juárez.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

## **2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En todos los estudios que a continuación se mencionan se abarcó parte del acuífero Lagunas.

- A) “Evaluación de la calidad del agua en la exploración del Domo Sur de la Primavera para abastecimiento público” Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Jalisco SIAPA. Informe No. DCA 01/90.
- B) “Estudio geológico- geoquímico por arsénico del área del Domo de La Primavera”. Permex, S.A. de C.V. (1990).
- C) “Balance preliminar de la Subcuenca San Isidro Mazatepec. Domo Sur de la Primavera. Gerencia Regional Lerma Santiago Pacífico” C. N. A. 1992
- D) “Estudio hidrogeológico regional de la Zona Geotérmica la Primavera- San Marcos-Hervores de la Vega, Jalisco”. Comisión Federal de Electricidad. 1996
- E) “Evaluación de la calidad del agua en la exploración del Domo Sur de La Primavera para abastecimiento público”.CFE 1996
- F) “Estudio geológico- geoquímico por arsénico del área del Domo Sur de La Primavera”.1993 SIAPA

- G) "Estudio Hidrogeoquímico e Isotópico de la Zona de Toluquilla- Ocotlán La Barca en el Estado de Jalisco".1996 IMTA

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincias fisiográficas**

El estado de Jalisco se encuentra dividido por cuatro de las varias provincias que conforman el Territorio Nacional (III Sierra Madre Occidental, IX Mesa del Centro, X Eje Neovolcánico y XII Sierra Madre del Sur). La zona del acuífero se encuentra localizada en la provincia denominada EJE NEOVOLCANICO, cubriendo un 34.98% del total del territorio estatal, por su parte este último se divide en subprovincias perteneciendo a la denominada subprovincia de CHAPALA (con un 17.32% de área del total de ocupación de la provincia en el Estado).

Los derrames basálticos y la mayoría de rocas que se extienden en todo el eje Neovolcánico se caracteriza por una alta permeabilidad que varía en un amplio rango, controlado principalmente por su grado de fracturamiento, la presencia de tubificaciones en los derrames y la intercalación de material escoriaceo.

En el subsuelo de los valles, las rocas consolidadas y no fracturadas abajo del nivel regional de saturación forman barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos que funcionan como basamento geohidrológico. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos locales independientes en rocas adyacentes.

En contraste, la mayoría de las rocas de composición riolítica, presente en la parte norte de esta región y que se extiende dentro de la cuencas aluviales en el sur, forman acuíferos de gran densidad y de permeabilidad moderada debido a su fracturamiento.

En las partes más bajas de las cuencas, los acuíferos en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, por lo que son acuíferos confinados o semiconfinados y se caracterizan por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad.

Los piroclastos tienen una alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja; en la zona de saturación funcionan como acuitardos, los cuales en escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes.

Estos materiales abundan en la base de los volcanes aunque con espesor menor, son menos porosos y más permeables de los de arriba.

### **3.2 Clima**

La climatología tiene que explicar, como las condiciones astronómicas, geográficas y meteorológicas influyen en los elementos climáticos. Estos factores externos son, latitud geográfica, la altitud, la capa vegetal, si es que existe. Otros factores meteorológicos pueden ser: dependencia del viento, con respecto a la distribución de presión, radiación solar, temperatura atmosférica, etc. Otro factor importante son los asentamientos humanos.

Los factores que pueden afectar al clima de la zona, son los accidentes naturales y su ubicación geográfica. Procedentes del Océano Pacífico. Los vientos monzónicos tienen una gran influencia al producir la mayoría de las corrientes húmedas de la región. Los ciclones provenientes del Océano Pacífico generan la mayor parte de las lluvias de la zona. La fisiografía, vegetación y sus charcas pueden influir también.

Se puede catalogar al clima que predomina en la zona como semiseco y semicálido, generalmente las estaciones secas son en otoño e invierno, aunque en algunos sectores de la cuenca la primavera transcurre sin precipitación. El régimen de lluvias sucede entre los meses de junio a agosto, sin embargo el temporal se puede extender hasta octubre e incluso podemos tener lugares en donde llueve en diciembre. La temperatura promedio mensual más alta registrada en la cuenca es de 30.4° y la mínima de 12.1°.

En cuanto a la flora, el tipo de vegetación dominante en la serranía son pinos y encinos con hojas verdes todo el año o que sólo permanecen sin follaje durante un corto periodo en la época seca. Así como arbustos que corresponden al tipo de vegetación en las partes bajas, donde predominan los cultivos principalmente maíz y otros granos. En lo que respecta a la fauna nativa se encuentran diversas especies, entre las que destacan el venado, el coyote, la liebre, el conejo, el armadillo, etc. Y en algunos lugares encontramos grandes felinos como el puma además de contar en toda la zona con varias especies de aves, insectos y peces.

**Temperatura media anual.-** La temperatura media anual es de 21.25° C, siendo el mes de junio en que se registran las temperaturas más elevadas, y en el mes de enero el mes más frío. Como reportan las estaciones climatológicas ubicadas dentro y fuera de la zona del acuífero, que se presentan en la tabla No. 2, para un periodo de 12 años (1986-1997):

<b>Estación</b>	<b>Municipio</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud msnm</b>
<b>Acatlán</b>	Acatlán de Juárez	20°26'	103°35'	<b>1361</b>
<b>Amacueca</b>	Amacueca	20°01'	103°36'	<b>1439</b>
<b>Atemajac</b>	Atemajac de Briz.	20°08'	103°43'	<b>2350</b>
<b>Atoyac</b>	Atoyac	20°01'	103°29'	<b>1373</b>
<b>Concepción de B. A.</b>	Concepción de B. A.	19°59'	103°15'	<b>2126</b>
<b>El Nogal</b>	Tapalpa	19°52'	103°53'	<b>1850</b>
<b>Jocotepec</b>	Jocotepec	20°15'	103°26'	<b>1537</b>
<b>Presa Hurtado</b>	Acatlán de Juárez	20°38'	103°39'	<b>1470</b>
<b>San Gregorio</b>	Gomez Farias	19°45'	103°23'	<b>1645</b>
<b>Tala</b>	Tala	20°28'	103°42'	<b>1650</b>
<b>Tlajomulco</b>	Tlajomulco	20°28'	103°27'	<b>1650</b>
<b>Tuxcueca</b>	Tuxcueca	20°09'	103°11'	<b>1525</b>
<b>Zacoalco</b>	<b>Zacoalco de Torres</b>	<b>20°14'</b>	<b>103°33'</b>	<b>1356</b>

Tabla No. 2. Ubicación de estaciones climatológicas.

**Precipitación media anual.-** La precipitación promedio anual es de 770.60 mm, con un período de lluvias del mes de junio al mes de octubre.

Calculado mediante el método de Isoyetas basado en reportes de la estaciones climatológicas de 1986-1997.

Se utilizo este método por el hecho de que generalmente llueve menos en las partes bajas que en las altas, en la zona existe un elevado número de estaciones distribuidas en las partes altas de toda la cuenca e influyen importantemente en el resultado, homogenizando las alturas calculadas a través del método de Thiessen, (811.77 mm) cuándo según los registros, llueve menos en las zonas de las Lagunas (sobre todo en la de Sayula), por esta razón se usó la obtenida por el método de Isoyetas.

**Evaporación potencial media anual.-** La evaporación media anual es del orden de 166.23 mm, presentando los meses con el mayor índice desde marzo hasta junio. Como reportan las tablas climatológicas de evaporación de las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero se encuentra en su totalidad en la zona denominada Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12) formado por una cuenca cerrada. Su drenaje es radial, con arroyos perennes e intermitentes que en épocas de lluvias descargan sus aguas a las partes bajas del valle, almacenándose finalmente de manera natural en las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula.

La zona se enmarca en la parte central del Estado, formando una depresión natural, denominada playas de Sayula, y en cuya parte más baja se localizan las lagunas de Atotonilco, San Marcos, Zacoalco y Sayula.

Conforman la cuenca dos valles, separados por un promontorio, justamente a la mitad de la longitud Norte-Sur, dividiendo al valle en una porción norte donde se asientan las Lagunas de Atotonilquillo, San Marcos y Zacoalco, y en la parte Sur La Laguna de Sayula.

La parte más baja de los valles la ocupan las lagunas de referencia que tienen una extensión variable en cada ciclo anual, dependiendo del temporal de lluvias, en algunos años se llegan a quedar sin agua. Casi todos los años conservan alguna cantidad de agua hasta el mes de junio.

Las playas de las lagunas no tienen, por esta razón, orillas definidas, pueden llegar a extenderse hasta alcanzar el pie de la montaña, constituyendo una vega de varios kilómetros de anchura en algunos casos; en otros, solo algunos cientos de metros debido a la condición orográfica del sitio.

El resto de la cuenca se extiende hacia arriba, hasta encontrar los parteaguas de los valles circunvecinos como son el de San Isidro, Chapala, Zapotlán y el Alto de Tapalpa, con elevaciones de hasta de más de 2,500 metros. La elevación de las lagunas es de 1,300 metros sobre el nivel del mar.

Las formaciones geológicas que afloran en zona, en gran parte son origen volcánico y sedimentario, encontrándose basaltos, tobas y calizas principalmente.

### **3.4 Geomorfología**

El relieve de la zona obedece tanto al acomodamiento constante del suelo como a la acción del Eje Neovolcánico y a otros elementos como son la lluvia, la radiación solar, el frío, los vientos, la erosión, etc. Se puede distinguir en la parte central de la cuenca una extensa llanura, misma que fue conformando a través de los años por sedimentos en su mayoría de origen aluvial.

Otras partes de la zona deben su forma actual a una intensa actividad volcánica, tal es el caso de la parte norte de la cuenca, donde se localiza La Sierra de la Primavera, y zonas circundantes a volcanes apagados (Totepec, Mazatepec, etc.). Posteriormente el paisaje se ha ido remodelando por efectos de la erosión. La zona es una serie de valles, cuencas y montañas en bloque, constituidas en su mayoría por rocas ígneas.

Debido a su origen, los tipos de suelos que conforman las zonas altas de la cuenca son adecuados para la presencia de bosque de pino y encino; sin embargo en las partes bajas las prácticas agrícolas son muy comunes. De acuerdo con estudios realizados para el INEGI, podemos distinguir en la zona varios tipos de suelos, sin embargo, cuatro tipos son los más frecuentes: el Solonchank Gléyico, el Solonchank Mólico, el Solonchank Ortico y el Vertisol Pélico.

Zona de La Laguna de Sayula: Esta zona se encuentra en un ambiente árido o semiárido, es una depresión en donde durante la estación seca por lo general el nivel freático es somero, sin embargo, en la estación húmeda éste sube pudiendo llegar hasta la superficie ocasionando cierta reducción del hierro. Al mismo tiempo, la evapotranspiración conduce a pérdidas de agua subterránea que ocasiona que algo de las sales disueltas en ésta se depositen en la superficie y baje el nivel freático, el agua que queda en la parte superior del suelo se pierde por evaporación y las sales que haya disueltas en ella se depositan. La repetición anual del proceso conduce a que se efectúe una acumulación considerable de sales dentro de la zona de fluctuación de humedad, pero no hay acumulación dentro de la zona de saturación permanente. Por lo tanto, el patrón de distribución de sales tiende a formar un máximo en o cerca de la superficie. La lluvia de verano afecta sensiblemente esta acumulación ya que produce cierta lixiviación, reduciendo con ello el contenido de sales.

#### 4 GEOLOGÍA

En el estado de Jalisco las principales estructuras geológicas son: aparatos volcánicos, derrames de lava, fracturas y fallas, que han dado origen a los valles y las fosas tectónicas, como por ejemplo la Laguna de Chapala. Los tres tipos de rocas conocidos (ígneas, sedimentarias y metamórficas) afloran dentro del estado, sus edades varían desde el Triásico hasta el Cuaternario, figura No. 2.

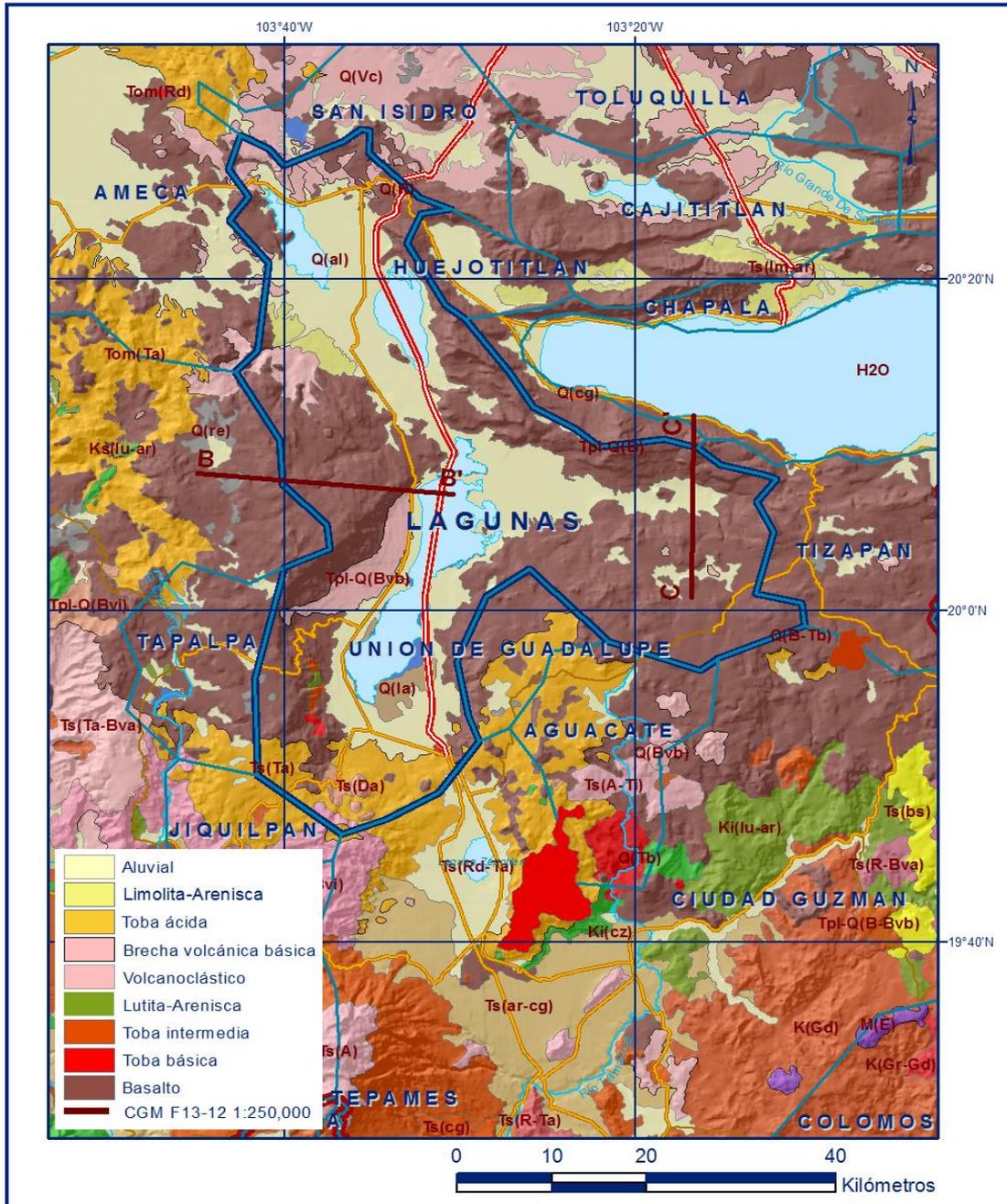


Figura 2. Geología general del acuífero

Las rocas más antiguas que se observan en la entidad son ígneas intrusivas a las que se les ha determinado una edad cretácica, estas rocas volcánicas se pueden observar en las sierras de la Laja y Tapalpa; subyaciendo a unas rocas sedimentarias marinas compuestas por calizas y areniscas con un espesor aproximado de 500 m. En general las principales unidades fisiográficas del estado surgieron entre los Periodos Oligoceno y Mioceno y fueron producto de una serie de fenómenos volcánicos y tectónicos, dando como resultado infinidad de emisiones de rocas ígneas, así nacieron las principales sierras: la Madre Occidental, la de Tapalpa, la Primavera, Las Galeras, La Mojonera, los Verdines, el cañón del Río Grande Santiago y diferentes fosas tectónicas que con el tiempo ocuparon los lagos de Sayula, Atotonilco, San Marcos, Zacoalco, Cajititlán y Chapala.

La Sierra Madre Occidental surgió como respuesta a la intensa actividad volcánica durante el Oligoceno-Mioceno, en el Periodo Terciario, resultando enormes emisiones de rocas ignimbríticas y piroclásticas, lavas basálticas y domos riolíticos.

Dentro del estado se han diferenciado cuatro provincias geológicas: La Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

#### **4.1 Estratigrafía**

En ésta zona las rocas que afloran principalmente son del tipo ígneo extrusivo y sedimentarias aluviales y lacustres, las zonas ocupadas por afloramientos metamórficos son pocas, localizándose pequeñas áreas al sur.

TERCIARIO MEDIO. - En la parte central y pequeñas porciones al norte se tienen varias formaciones riolíticas dispuestas en forma de derrames con presencia de obsidiana y esferas de ortoclasa. En las partes supuestamente enfriadas con rapidez, presentan planos de fluidez, siendo de los cuerpos líticos más alterados de la zona, su color es pardo rosáceo claro, su estructura compacta, textura fluidal, y su mineralogía: cuarzo, feldespatos y minerales arcillosos.

TOBAS DEL TERCARIO.- Formado por tobas pumíticas poco consolidadas, constituidas por vidrios volcánicos de color que varía de gris amarillento a café grisáceo oscuro.

VIDRIOS RIOLÍTICOS DEL TERCIARIO.- Son perlitas y obsidianas que varían de color gris claro a negro, se encuentran en forma de vidrios volcánicos, esta unidad aflora principalmente en la Sierra de la Primavera.

BASALTOS DEL CUATERNARIO PLEISTOCENO.- Basalto moderno, distribuido por la zona, caracterizado por derrames de lava en todas direcciones, con variaciones estructurales de compacta a vesicular, de textura afanítica, presenta una coloración gris oscura generalmente. Dentro de esta misma clasificación podemos situar a conos volcánicos compuestos por materiales piroclásticos de diferentes tamaños que comprenden cenizas y arenas.

ALUVION DEL CUATERNARIO.- Constituidos por materiales limosos, arenosos, gravas, arcillas plásticas, cantos rodados de acarreo y sueltos fósiles.

**TECTONICA.** - La región estudiada se encuentra alterada por movimientos tectónicos que provocaron una orogenia constituida por depresiones y limitadas por cadenas montañosas que se separan entre sí, formando una serie de fosas que afectaron el basamento original, constituido por calizas y sedimentos marinos. Como consecuencia al debilitamiento de las zonas corticales, se produjeron una serie de fallas y fracturas paralelas que fueron conducto para liberar las presiones del magma en la zona, provocando emisiones de lava en gran parte de la zona. Se han encontrado fallas y fracturas que tienen direcciones N-S, NW-SE, NE-SW y E-W; además de que estructuralmente se tienen rasgos circulares.

#### **4.2 Geología estructural**

El acuífero Lagunas, estructuralmente consiste en un graben o fosa tectónica, rellena de ceniza y derrames volcánicos alterados, con depósito lacustre (diatomita) del Terciario y cubiertos por depósitos aluviales y lacustres del Cuaternario, todo esto se ubica dentro de un sistema de fallas escalonadas con dirección NW-SE y con basculamiento hacia el NE, éstas estructuras definen la geometría del acuífero, así como las direcciones del flujo regional.

En el graben o fosa se localizan una serie de fallas asociados con actividad volcánica con rumbo oriente, poniente y de forma radial al centro de las lagunas de Sayula y Zacoalco.

## **5 HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de Acuífero**

Está constituido por sedimentos lacustres del Cuaternario y con espesores que llegan hasta mil metros, la dirección preferente del flujo subterráneo es obviamente hacia las lagunas o partes bajas y circula a través de los depósitos aluviales junto con arcillas y limos, todo esto en las partes bajas del acuífero (1350 msnm), mientras que en las partes altas el flujo subterráneo transita en boleos y estratos de basalto alterados.

### **5.2 Piezometría**

En base a la red de pozos piloto se obtuvo un conocimiento de la distribución de niveles piezométricos o niveles estáticos. Se configuro un plano, con la interpretación de los valores de elevación del nivel estático trazando curvas de igual elevación a cada 10 m; esta metodología se utilizó para configurar los datos de 1998.

**Niveles del agua subterránea:** De acuerdo con la configuración piezométrica correspondiente al año de 1998, los niveles del agua subterránea se encuentran a profundidades que van de 3.0 a 18.0 m, dependiendo de la época en que se hagan éstas observaciones, así tenemos que en la época de estiaje los niveles estáticos corresponden con las mayores profundidades, del centro hacia la periferia y en temporada de lluvias, empiezan a recuperarse, incrementándose principalmente de la periferia hacia el centro del valle.

Derivado de la interpretación piezométrica se definieron dos zonas dentro de la cuenca; una denominada zona de recarga, que se localizan en la mayoría de las serranías con diferentes grados de permeabilidad y transmisividad; y otras zonas de sobrebombeo que se localizan al sur de la cuenca, en las áreas comprendidas entre las poblaciones de Sayula y Usmajac, lo evidencian los conos de abatimiento y se justifican con el elevado número de aprovechamientos en el lugar.

Referente al flujo subterráneo, éste tiene una dirección que va de las partes altas a las bajas en dirección a las Lagunas que se encuentran en la zona. Las elevaciones del nivel del agua subterránea van de los 1,370 msnm en la parte oriente, hacia las partes altas topográficamente, hasta los 1,340 msnm en las partes topográficamente más bajas, como se observa en la figura No. 3.

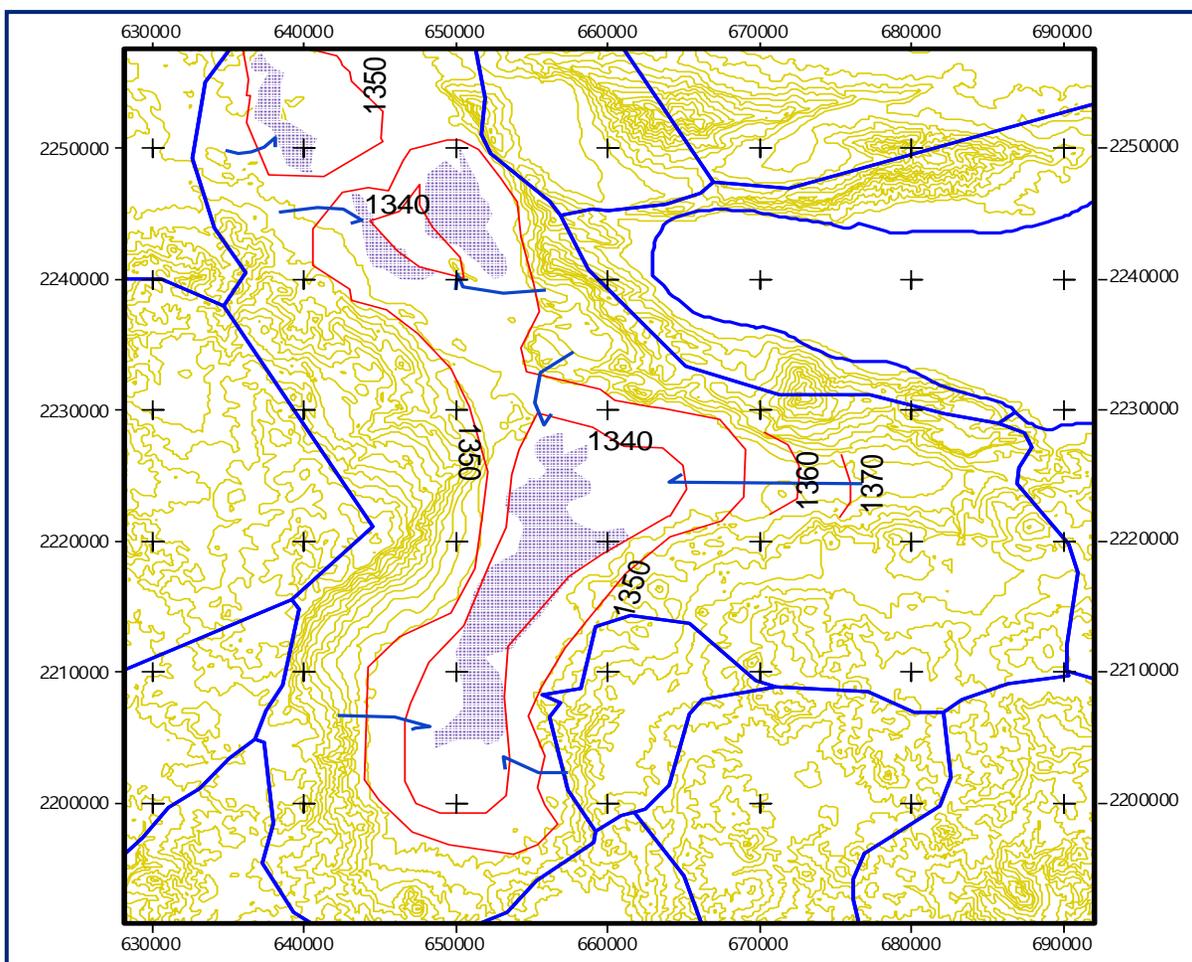


Figura 3. Elevación del nivel estático en msnm (1998)

## 6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Del padrón de usuarios con que la Subgerencia Técnica Regional Lerma- Santiago Pacífico, después de la depuración realizada en el mes de octubre del año 2002, incluyendo los inventarios de campo de estudios anteriores y de los que generó el REPDA hasta octubre 2002, resultaron 1003 aprovechamientos de los cuales 599 son pozos y 404 norias que en conjunto extraen un volumen de 62.8 millones de metros cúbicos anuales ( $\text{hm}^3/\text{año}$ ).

Para el balance de aguas subterráneas se estima un volumen de extracción anual por pozo con un régimen de operaciones promedio de la zona, además de los gastos aforados y las hectáreas regadas con una lámina que fluctúa entre 0.6 y 1.0 metro para el caso del uso industrial y para el uso público urbano se consideró el volumen declarado.

MUNICIPIO	POZOS		VOLUMEN (Mm <sup>3</sup> )	NORIAS		VOLUMEN (Mm <sup>3</sup> )	TOTAL		VOLUMEN (Mm <sup>3</sup> )
	No. APROVS			No. APROVS			No. APROVS		
	E	C		E	C		E	C	
Concepción B. Aires	2	2	0.3652	0	0	0.0000	2	2	0.3652
Teocuitatlán Corona	221	200	6.5957	248	242	4.8287	469	442	11.4244
Zacoalco de Torres	147	94	8.3838	98	77	2.0509	245	171	10.4347
Villa Corona	41	36	5.7994	41	41	1.6940	82	77	7.4933
Techaluta Montenegro	19	12	2.2931	7	6	0.1887	26	18	2.4818
Amacueca	77	37	4.3477	14	4	0.0809	91	41	4.4286
Sayula	389	205	23.2378	26	22	0.8211	415	227	24.0589
Atoyac	34	13	1.7179	29	12	0.3720	63	25	2.0898
Totales	930	599	52.7406	463	404	10.0363	1393	1003	62.7767

Tabla No. 3. Tipo de aprovechamientos por Municipio.

MUNICIPIO	AGRICOLA		DOMESTICO			PECUARIO			PUBLICO URBANO			
	No. APROVS		No. APROVS		No. APROVS		No. APROVS		No. APROVS		Volumen (Mm <sup>3</sup> )	
	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C		
Concepción B. Aires	1	1	0.3064	0	0	0	0	0	0	1	1	0.0588
Teocuitatlán Corona	431	409	10.6281	3	3	0.0024	9	9	0.0844	25	20	0.6994
Zacoalco de Torres	216	148	8.9674	2	0	0	4	4	0.0398	21	18	1.3794
Villa Corona	63	62	5.1882	0	0	0	1	1	0.0005	7	3	0.4745
Techaluta Montenegro	21	14	2.2885	0	0	0	1	1	0.0036	4	3	0.1896
Amacueca	87	39	4.4025	1	0	0	0	0	0	3	2	0.0262
Sayula	372	200	22.1771	0	0	0	13	9	0.0491	24	14	1.8163
Atoyac	50	16	1.6702	0	0	0	2	2	0.0029	11	7	0.4167
Totales	1241	889	55.6284	6	3	0.0024	30	26	0.1803	96	68	5.0609

MUNICIPIO	INDUSTRIAL			SERVICIOS			MULTIPLE			TOTAL		
	No.		Volumen	No.		Volumen	No.		Volumen	No.		Volumen
	APROVS		(Mm <sup>3</sup> )	APROVS		(Mm <sup>3</sup> )	APROVS		(Mm <sup>3</sup> )	APROVS		(Mm <sup>3</sup> )
	E	C		E	C		E	C		E	C	
Concepción B. Aires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.3652
Teocuitatlán Corona	1	1	0.01	0	0	0	0	0	0	469	442	11.4244
Zacoalco de Torres	1	1	0.048	1	0	0	0	0	0	245	171	10.4347
Villa Corona	0	0	0	11	11	1.8301	0	0	0	82	77	7.4933
Techaluta Montenegro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	18	2.4818
Amacueca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	41	4.4286
Sayula	4	2	0.0075	2	2	0.009	0	0	0	415	227	24.0589
Atoyac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	25	2.0898
Totales	6	4	0.0655	14	13	1.8391	0	0	0	1393	1003	62.7767

Tabla 4. Número de aprovechamientos por uso

## 7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tomando en consideración lo anterior, tenemos que la ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

### 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. La recarga total la dejamos como incógnita dentro de la ecuación.

### 7.2 Salidas

#### 7.2.1 Manantiales

Para el caso de la zona en donde se localiza el acuífero, se considera una descarga a través de manantiales del orden de 3.0 hm<sup>3</sup>/año.

## 7.2.2 Bombeo

El volumen extraído total del acuífero a través del bombeo, para todos los usos resultó de 62.8 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales). Las salidas por bombeo son consideradas las de mayor importancia para este acuífero, esto derivado del padrón de usuarios con que cuenta la Subgerencia Técnica Regional Lerma- Santiago Pacífico, después de la depuración realizada en el mes de octubre del año 2002, incluyendo los inventarios de campo de estudios anteriores y de los que generó el REPDA hasta octubre 2002

## 7.2.3 Evapotranspiración

Utilizando el cálculo de evapotranspiración potencial calculado por el método de Thornthwaite

No.	Concepto	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Anual
1	Evapotranspiración Potencial	42.65	47.97	78.44	77.19	96.97	97.58	88.01	85.66	75.71	69.19	55.47	45.14	859.64
2	Precipitación Media mensual	0	0	0	0	37.8	117.1	175.8	128	156.6	98	5	0	778.3
3	Variación de la reserva	-42.35	-47.94	78.44	77.19	58.87	79.52	87.79	42.34	80.89	28.81	50.47	45.14	
4	Capacidad de campo	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	0	0	
5	Evapotranspiración Real	0	0	0	0	37.8	97.58	88.01	85.66	75.71	69.19	35	0	488.94

capacidad de campo:	30	
Precipitación Media		
Anual:	778.3	100%
Evapotranspiración real:	488.94	62.82%
Escurrimiento +		
Infiltración:	289.36	37.18%

Se utilizo el método de Thornthwaite donde resulto un valor de 488 mm, que multiplicado por el área donde aflora el material aluvial, y donde se presentan los niveles más someros, nos da como resultado:

$$488 \text{ mm} \times 771 \text{ km}^2 = 376.2 \text{ hm}^3$$

Aplicando un valor promedio de 7 m de profundidad al nivel estático y bajo la siguiente consideración:

Profundidad al n. e.	Evapotranspiración	factor
(m)	(%)	
0	100	1.0

2	80	0.8
5	50	0.5
7	30	0.3
10	0	0.0

Por lo tanto la evapotranspiración se calcula como sigue:

$$376.2 \times 0.3 = \mathbf{112.9 \text{ hm}^3/\text{año.}}$$

### 7.3 Cambio de almacenamiento

Tomando en consideración los valores de las entradas y las salidas del sistema acuífero el valor de este parámetro es de cero.

#### Solución a la ecuación de balance.

$$\begin{array}{r} \text{CAMBIO DE} \\ \text{ALMACENAMIENTO EN EL} \\ \text{ACUÍFERO} \end{array} = \begin{array}{r} \text{RECARGA TOTAL} \\ \text{(SUMA DE} \\ \text{ENTRADAS)} \end{array} - \begin{array}{r} \text{DESCARGA TOTAL (SUMA} \\ \text{DE SALIDAS)} \end{array}$$

ENTRADAS:

**Recarga total = incógnita**

SALIDAS:

Evapotranspiración = 112.9 hm<sup>3</sup>/año.

Bombeo = 32.8 hm<sup>3</sup>/año.

Manantiales = 3.0 hm<sup>3</sup>/año.

Por lo tanto:

$$R_t - \text{Evaptr} - \text{Bombeo} - \text{Manantiales} = +\Delta V(s)$$

$$R_t - 112.9 - 62.8 - 3.0 = 0.0$$

$$\mathbf{R_t = 178.7 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

En forma resumida los datos del balance, se presenta en la tabla 4

Tabla 4. Balance de aguas subterráneas.

Área total del acuífero			km <sup>2</sup>	2136.77
RECARGA TOTAL				
		Área del valle	km <sup>2</sup>	771.0
		Coefficiente		
		Precipitación	mm/año	770.6
Recarga natural por lluvia			hm <sup>3</sup> /año	
Entradas naturales			hm <sup>3</sup> /año	
Total de recarga natural			hm <sup>3</sup> /año	
	Público Urbano		hm <sup>3</sup> /año	
Recarga inducida P.U.			hm <sup>3</sup> /año	
	Agrícola más otros		hm <sup>3</sup> /año	
Recarga inducida Agrícola + otros			hm <sup>3</sup> /año	
RECARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	178.7
DESCARGA TOTAL				
Salidas horizontales			hm <sup>3</sup> /año	0.00
Caudal base			hm <sup>3</sup> /año	
Evapotranspiración			hm <sup>3</sup> /año	112.9
	Extracción total		hm <sup>3</sup> /año	62.8
	Manantiales		hm <sup>3</sup> /año	3.0
	Agrícola		hm <sup>3</sup> /año	
	Público		hm <sup>3</sup> /año	
	Urbano		hm <sup>3</sup> /año	
	Industrial		hm <sup>3</sup> /año	
	Otros		hm <sup>3</sup> /año	
DESCARGA TOTAL			hm <sup>3</sup> /año	178.7
Cambio de almacenamiento			hm <sup>3</sup> /año	0.00
<b>Coefficiente de almacenamiento</b>				
<b>Volumen drenado</b>				
AGUA SUPERFICIAL				
Agrícola				
Público Urbano				
Industrial				

## 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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga por infiltración por lluvia, más la recarga inducida, en este caso se engloba todos los componentes, dando un valor de recarga total de **178.7 hm<sup>3</sup>/año**. El cambio de almacenamiento se consideró cero, ya que los niveles no han variado.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida, se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben de ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes. Para el caso de la zona del acuífero la descarga natural comprometida se considera **3.0 hm<sup>3</sup>/año**, que corresponde a las salidas a través de manantiales.

### 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **178,049,224 m<sup>3</sup> 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 aguas subterráneas**

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 178.7 - 3.0 - 178.049224 \\ \text{DMA} &= -2.349224 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,349,224 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Ariel Consultores. Geohidrología de los Valles de Atemajac, Tesistán, Ameca, Ahualulco, San Marcos y San Isidro.

Comisión Nacional del Agua. 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos.

Comisión Nacional del Agua. 1996. Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Geotecnia. Pruebas de Bombeo.