



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO TIZAPÁN (1429), ESTADO DE JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>1</b>
1.1. Localización.....	1
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	3
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>3</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>5</b>
3.1. Provincia Fisiográfica .....	5
3.2. Clima.....	6
3.3. Hidrografía.....	7
3.4. Geomorfología.....	7
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
4.1. Estratigrafía.....	9
4.2. Geología Estructural.....	10
4.3. Geología del Subsuelo.....	11
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
5.1. Tipo de Acuífero.....	12
5.2. Parámetros hidráulicos.....	13
5.3. Piezometría .....	14
5.4. Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1. Profundidad al nivel estático.....	14
5.4.2. Elevación del nivel estático .....	15
5.4.3. Evolución del nivel estático.....	16
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS.....</b>	<b>18</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....</b>	<b>18</b>
7.1. Entradas .....	19
7.1.1. Recarga vertical.....	19
7.1.2. Recarga por flujo subterráneo horizontal.....	20
7.1.3. Recarga inducida.....	21
7.2. Salidas.....	22
7.2.1. Evapotranspiración .....	22
7.2.2. Bombeo.....	23
7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal.....	23
7.2.4. Flujo base.....	24
7.3. Cambio de almacenamiento .....	24
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>25</b>
8.1. Recarga total media anual (R).....	25
8.2. Descarga natural comprometida.....	26
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) .....	26
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	27
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>28</b>

## **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 Tizapán, definido con la clave 1429 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza al Oriente del estado de Jalisco, entre los paralelos 19° 56' y 20° 11' de latitud norte y los meridianos 102° 55' y 103° 16' de longitud oeste. Colinda al norte con el Lago de Chapala, al poniente con los acuíferos Chapala y Lagunas, al sur con Ciudad Guzmán y Valle de Juárez, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco, y al oriente con el acuífero Ciénega de Chapala, del estado de Michoacán. Figura 1, cubre una superficie aproximada de 426 km<sup>2</sup> conforme a la poligonal que lo delimita.

El acuífero integra principalmente territorios de los municipios Tizapán El Alto, y La Manzanilla de la Paz; una porción inferior de los municipios Mazamitla, Tuxcueca y Concepción de Buenos Aires y una muy pequeña porción de los municipios Teocuitatlán de Corono y Chapala.

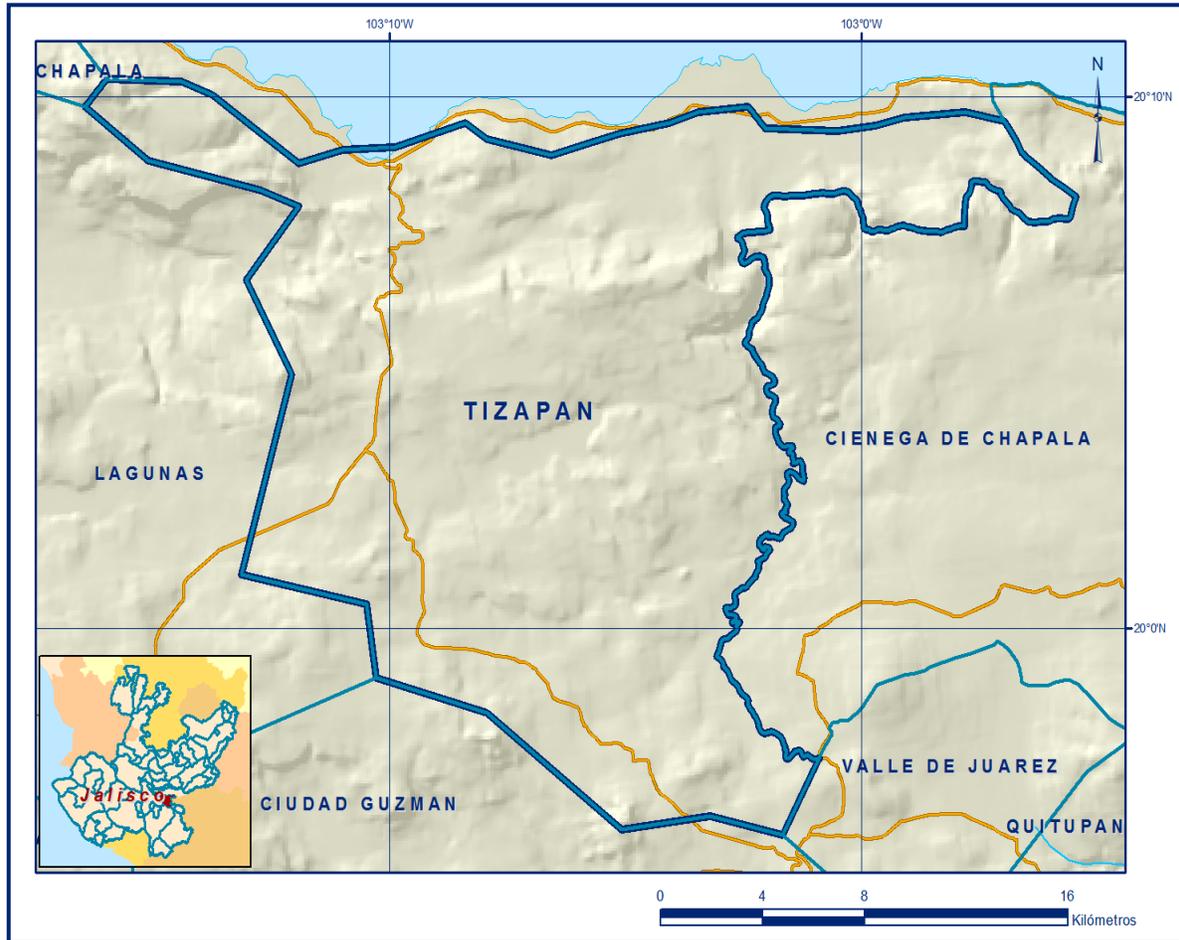


Figura 1. Localización del acuífero

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

**ACUIFERO 1429 TIZAPAN**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	0	53.5	19	57	34.2	
2	103	1	40.9	19	56	7.6	
3	103	3	12.6	19	56	29.0	
4	103	5	5.8	19	56	13.7	
5	103	7	56.9	19	58	25.2	
6	103	10	17.6	19	59	4.9	
7	103	10	29.8	20	0	27.5	
8	103	13	8.8	20	1	1.1	
9	103	12	4.6	20	4	47.3	
10	103	13	2.7	20	6	34.3	
11	103	11	55.4	20	7	56.9	
12	103	12	44.3	20	8	15.2	
13	103	15	8.0	20	8	48.8	
14	103	16	27.5	20	9	50.0	
15	103	16	0.0	20	10	20.5	DEL 15 AL 16 POR LA ORILLA DEL LAGO DE CHAPALA
16	102	56	58.6	20	9	32.9	DEL 16 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	103	0	53.5	19	57	34.2	

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

**1.2. Situación administrativa del acuífero**

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III” Decreto *por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos Municipios del estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del estado de Jalisco*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1987.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2. El usuario principal del agua es el agrícola. En el acuífero no se localiza Distrito de Riego alguno, ni tampoco se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS). El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca (15) Lerma-Chapala, instalado el 28 de enero de 1993, así como de la Comisión de Cuenca (15B) Propia del Lago de Chapala.

**2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

De 1975 al 2004, se han realizado diversos estudios formales realizados en el acuífero o en áreas aledañas que lo incluyen, de carácter regional o local, a diferente nivel de detalle, con objetivos distintos.

Los objetivos y principales conclusiones de los más importantes son los siguientes:

**Estudio Geológico Regional de la Cuenca Lacustre del Altiplano Mexicano (área Jalisco-Michoacán). Realizado en 1975 por la empresa Casther, S. A., para la SRH.**

El área del estudio está comprendida en la región sur-central de Jalisco y noroccidental del estado de Michoacán. La cuenca más importante es la Fosa de Chapala. En esta fosa y principalmente en la región conocida como Ciénega de Chapala se han perforado gran número de pozos, cuyas profundidades son variables; los más profundos han llegado a poco más de 200 m.

Tomando en cuenta los espesores expuestos en el flanco norte de la fosa y en consideración que se trata de una fosa con fallas escalonadas y con hundimiento central, se han estimado espesores para la Formación Chapala en el centro de la cuenca, del orden de 500 a 600 m. Lo anterior podría significar que en esta cuenca solamente han sido explotados los acuíferos superiores. Las fosas de Zacoalco, Sayula y Zapotlán, en tiempo de lluvias se cubren por un delgado tirante de agua; en el estiaje, se convierten en inmensas playas ensalitradas, no aptas para ningún cultivo ni para pastoreo.

En los que se han denominado Valles Altos de Jalisco, las aguas de los ríos corren torrencialmente en épocas de lluvias y es urgente su control mediante la construcción de pequeñas presas. Los vasos así construidos servirían no únicamente para el almacenamiento de aguas en la superficie, sino también para lograr su infiltración hacia los acuíferos.

**Estudio Geohidrológico de Evaluación y Censo en el estado de Jalisco. 1977. Realizado por la compañía Estudios Geohidrológicos y Obras Civiles, S.A., para la SARH.** En términos generales este trabajo se orientó a la prospección y análisis del marco geológico estructural, tectónico, estratigráfico y litológico, del funcionamiento hidrogeológico y al estudio de la hidrodinámica, hidrometría de extracciones, geoquímica, piezometría, del balance y manejo preliminares del agua subterránea.

Se usaron imágenes de satélite Landsat-I para el análisis de los lineamientos estructurales o de expresiones de rasgos tectónicos, con profunda influencia sobre los flujos de agua subterránea, y para identificar áreas de recarga y descarga de éstos y adicionales características estructurales que rigen el marco hidrogeológico de la región.

Se estudiaron aspectos hidrográficos, revelando la naturaleza torrencial de la mayor parte de los escurrimientos superficiales y la necesidad de su regulación mediante obras hidráulicas pequeñas que también servirían como estructuras de recarga de acuíferos. Igualmente, se realizaron estudios de clima y trabajos de censo y nivelación de brocales de pozos, mediciones piezométricas, muestreos y análisis físico químico del agua subterránea, se llevó a cabo el análisis de la interacción hidráulica ríos-acuífero y la investigación del subsuelo por medio de sondeos geofísicos de resistividad para inferir la estructura, geometría y límites de los acuíferos.

Se determinó que los acuíferos lacustres tienen granulometría, origen y grado de compacidad diverso, que su desigual litología refleja variaciones de conductividad hidráulica, y que el potencial acuífero es incierto.

En cuanto al acuífero volcánico, principalmente de origen basáltico riolítico, se supone posee amplias zonas de recarga enclavadas en las sierras limítrofes, buena permeabilidad por fracturamiento, elevado rendimiento, gradientes moderados y dimensiones de carácter regional con distribución errática.

**Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica, en el estado de Jalisco. 2007. Realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para la CNA.** El objetivo fue contar con los documentos técnicos de respaldo que sirvan de consulta rápida para conocer la disponibilidad media anual de agua del Acuífero (1429) Tizapán, del Estado de Jalisco, ajustándose a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. 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**

El acuífero Tizapán, según el INEGI (1991), se localiza en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, subprovincia Chapala, caracterizadas por la presencia predominante de rocas volcánicas de naturaleza basáltica-riolítica y las secuencias piroclásticas asociadas, por sedimentos lacustres y aluvión; a escala regional presentan diversas topoformas, desde relieves escarpados y cañadas a laderas tendidas, mesetas, llanos, valles y depresiones.

La subprovincia Chapala presenta una magnitud significativa en fallamiento asociado con manifestaciones volcánicas y grabens (áreas hundidas entre sistemas de fallas). Se encuentra en esta subprovincia a 1,500 msnm el mayor lago del país, cuyas aguas ocupan un enorme graben ubicado entre sistemas de grandes fallas este-oeste y otras más pequeñas dirigidas burdamente de norte a sur.

Por otro lado, el vulcanismo se desarrolló a lo largo de algunas líneas de fallas y levantó las sierras que bordean el lago. El resultado es un paisaje de origen unitario, pero de morfologías combinadas que aportan una notable singularidad a la provincia.

En la subprovincia de Chapala se distinguen 4 regiones o sectores:

1. Una región occidental con importantes sistemas de fallas noroeste-sureste y norte-sur que han generado grabens con esos mismos rumbos y que forman los vasos de los lagos Atotonilco, Zacoalco, San Marcos y Sayula, situados a una altitud promedio de 1,350 msnm.
2. El propio lago de Chapala y las Sierras de Laderas de Escarpe de falla que lo circundan, más su extensión de Ciénega ubicada al este: La Ciénega de Chapala. El lago, bastante somero, es mantenido fundamentalmente por los aportes del río Lerma al que recibe en el extremo oriental.
3. Las sierras afalladas y llanos al norte de los lagos.
4. Las sierras afalladas y la región de lomeríos al sur de los lagos.

### **3.2. Clima**

De acuerdo con los datos de las siete estaciones climatológicas seleccionadas, con registros de 1979 a 2006, el clima es templado subhúmedo. Los promedios anuales de temperatura, precipitación y evaporación potencial son 18° C, 779.9 mm y 1746.5 mm respectivamente; el régimen de lluvias se presenta entre junio y octubre.

La precipitación menos abundante se presenta en la porción noroeste del acuífero, y la más cuantiosa en la porción sureste. El clima cálido corresponde a su límite norte, en las proximidades del Lago Chapala.

La evapotranspiración real representa aproximadamente el 85% de la lámina de lluvia.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica No. 12, Lerma-Chapala-Santiago, la más importante de la entidad, representa el 50% de la superficie estatal e incluye el 70% de su población y la mayor parte de la industria. Su principal escurrimiento es el río Santiago.

El acuífero Tizapán asimismo está enclavado en la cuenca hidrográfica del Lago, de 5127 km<sup>2</sup> de superficie, con importantes propiedades reguladoras del sistema Lerma-Santiago y enorme valor para la región, es el más relevante del país.

Sobre el lago vierten aguas residuales domésticas, municipales, agrícolas e industriales, que afortunadamente sufren cambios bioquímicos y físicos favorables debido a la gran capacidad de dilución del vaso entre otros factores.

Las corrientes superficiales de las partes elevadas del acuífero describen trayectorias cortas de recorrido y régimen de flujo intermitente; las de las zonas bajas, en cambio, poseen mayor desarrollo y gasto base perenne, emanado por la descarga de los acuíferos marginales.

### **3.4. Geomorfología**

El acuífero define rasgos geomorfológicos diversos, la mayor parte de ellos de origen volcánico y en menor consideración de procedencia fluvial y aluvial.

Se aprecian zonas planas con altitudes de 1500 a 1600 msnm, relieves ondulados con 1600 a 1800 msnm de elevación y partes abruptas montañosas cuyas cotas topográficas varían de 1800 a 2100 msnm.

Dentro del estado de Jalisco la subprovincia de Chapala presenta los siguientes sistemas de topoformas: Sierras de Laderas Abruptas con Cañadas; Sierra de Laderas Tendidas; Sierra con Laderas de Escarpa de Falla; Sierra con Ladera de Escarpa de Fallas y Mesetas; Escudo-Volcanes Aislados o en Conjuntos; Sierra Volcánica con Mesetas; Lomeríos Asociados con Llanos; Lomeríos Suave (tobas); Lomeríos Suaves (conglomerados y areniscas); Valle de Laderas Tendidas; Valle de Laderas Tendidas con Terrenos Ondulados; Depresión; Gran Llano; Pequeño Llano Aislado y Llano Salino.

## **4. GEOLOGÍA**

Las rocas que afloran dentro de los límites del acuífero son de tipo ígneo extrusivo, están constituidas por basalto, toba y brecha volcánica, por depósitos lacustres y también por aluvión de grava, arena y arcilla. Su edad va del Mioceno al Reciente.

En general predominan rocas de origen basáltico en extensas áreas, fuerte grosor, composición litológica heterogénea y comportamiento estructural diverso. Las propiedades hidrogeológicas de estas rocas dependen de su fracturamiento, porosidad inicial, posición estratigráfica, dimensiones, continuidad, altitud, desintegración e intemperismo.

El aluvión se circunscribe a pequeños valles intermontanos, tienen poca extensión y pocos metros de espesor. Los depósitos lacustres, como las rocas volcánicas, también figuran de manera importante dentro del contexto geológico integral, en el subsuelo se han detectado fuertes espesores, constituidos por material de granulometría, compacidad y litología diversa. Ambas rocas juegan un rol geohidrológico fundamental. En general, el marco geológico descrito es acentuadamente heterogéneo. El mapa de la Figura 2 muestra la geología general del acuífero.

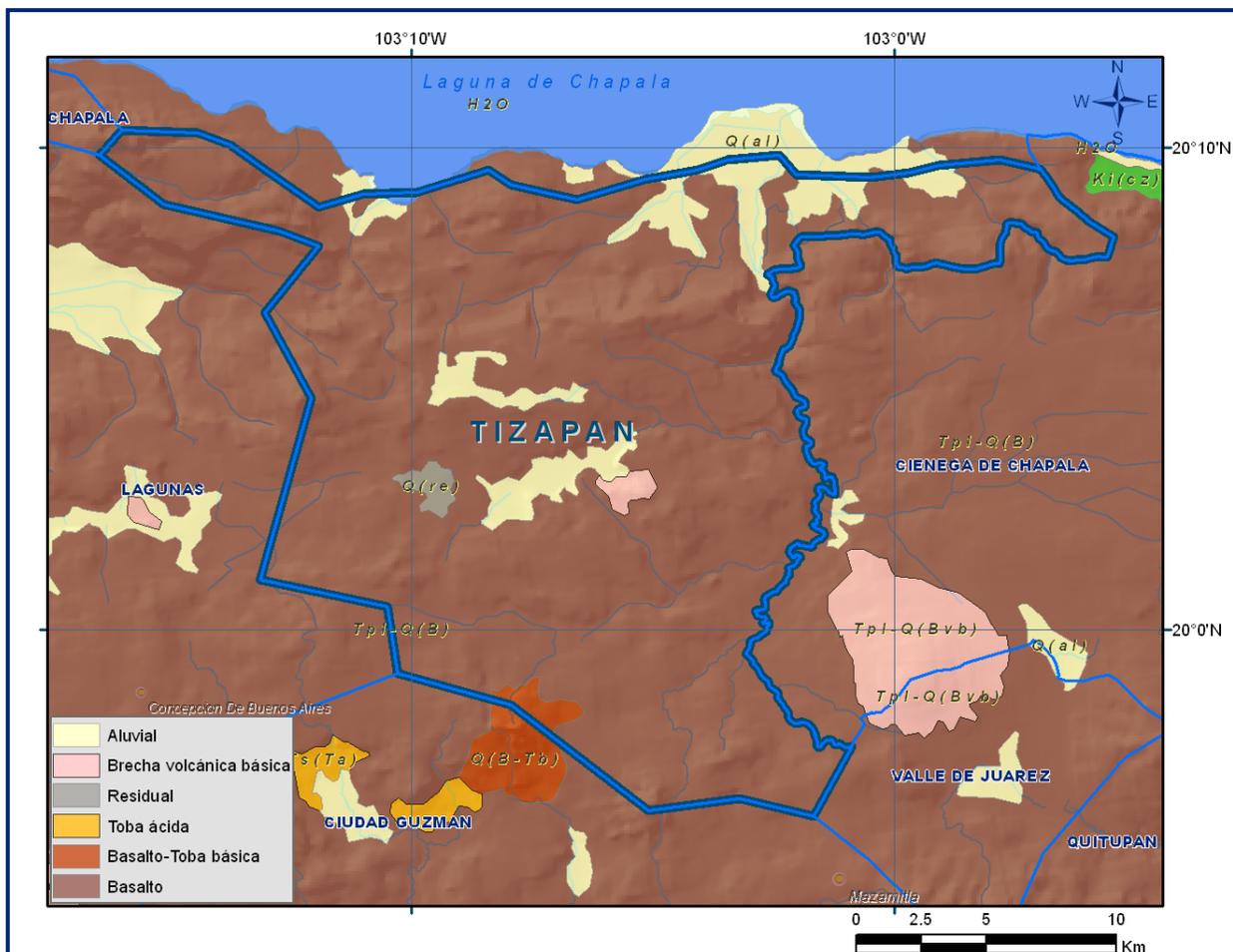


Figura 2. Geología general del acuífero

#### **4.1. Estratigrafía**

Las unidades estratigráficas mayores se citan a continuación.

##### Formación San Lucas

Areniscas, lutitas, limolitas, calizas y volcanoclásticos con sedimentación tipo flysch, del Cretácico Inferior; está cubierta por la Formación Morelos. Describe el basamento regional profundo.

##### Formación Morelos

Caliza de color gris y estratificación gruesa, se correlaciona litológicamente con rocas que afloran al W de Colima; datan del Cretácico Medio, ocasionalmente subyace a la secuencia volcánica y lacustre del Paleógeno-Neógeno.

##### Formación Mezcala

Alternancia de arenisca, limolitas y lutitas, de color pardo o verde y estratificación delgada, sobreyace a la formación Morelos, se encuentra debajo de estratos de caliza y marga del Cretácico Superior, que corresponden al piso discordante del Grupo Balsas. No aflora dentro de los límites del acuífero.

##### Grupo Balsas

Del Eoceno-Oligoceno, con mayor antigüedad en la parte central de México; son rocas sedimentarias de origen continental que tienen disposición poco inclinada que las hace diferentes de las del Neógeno, cuya posición es predominantemente horizontal.

El grupo Balsas está constituido por gran variedad de rocas como conglomerados calcáreos y volcánicos, evaporitas, calizas lacustres, arenas, limos, tobas y derrames volcánicos interestratificados.

##### Basaltos del Paleógeno-Neógeno

En el lado sur del Lago se observa la unidad más antigua, con estructura compacta o vesicular, fuertemente fracturada, los afloramientos no presentan un rumbo específico.

Podrían tener hasta 500 m de espesor, su estructura los diferencian de los basaltos recientes. En algunas partes presentan notable porosidad secundaria por fracturamiento; en otras, ocurre lo contrario porque los huecos están rellenos por arcilla y sílice.

#### Brecha volcánica básica

Aflora en la porción central del acuífero, presenta estructura irregular y textura gruesa, se encuentra intercalada con derrames lávicos.

#### Basaltos Cuaternarios

Se encuentran ampliamente distribuidos, poseen gran espesor, alternan con su secuencia piroclástica asociada, están caracterizados por flujos de lava con discrepancias estructurales, apariencia compacta y vesicular, textura afanítica y coloración gris oscura.

Se incluyen en esta clasificación conos volcánicos compuestos por ceniza y arena.

#### Tobas Básicas

Afloran en la colindancia con el acuífero Ciudad Guzmán, límite suroeste de Tizapán. Cubren en forma alternada a rocas basálticas, su edad es del Cuaternario, tienen origen volcánico y considerables dimensiones.

#### Aluvión y suelo residual

Constituidos por grava, arena, limo y arcilla, no consolidados, aflora en zonas locales de planicies y valles, registran poco espesor.

### **4.2. Geología Estructural**

El acuífero se encuentra ubicado en zona de fosas tectónicas. De geología compleja, presenta abundancia de rocas ígneas extrusivas tipo andesita, riolita, basalto y piroclásticos asociados; definen relieves montañosos, de planicie, valles y cañadas.

Como estructura sobresaliente se encuentra la fosa tectónica del Lago, ubicada entre fallas tensionales, que posteriormente se rellenó con material lacustre y volcánico.

Las estructuras más importantes, son:

***Graben Chapala-Tepic***, corresponde al límite occidental del Eje Neovolcánico, con alineación NW-SE entre Tepic y Guadalajara y E-W en la parte del Lago, y con manifestaciones basáltico riolítico ignimbríticas Plio-Cuaternarias, cuya expresión explosiva más espectacular se encuentra en el domo la Primavera, al SW de Guadalajara.

**Graben Colima**, limita al N con la depresión Chapala; se diferencia por su orientación N – S, mayor actividad volcánica, representada por el Nevado de Colima–Volcán de Fuego y aparatos volcánicos pequeños que cubrieron terrenos Oligo-Miocénicos presentes a un lado y otro del graben.

Su actividad tectónica principió en el Plioceno Superior; posteriormente, sufrió una fase de destrucción de carácter explosivo, responsable de su condición actual, y tuvo etapas de actividad importantes desde 1576. El último período eruptivo violento con nubes ardientes fue entre 1912 y 1923, terminando con la formación en la chimenea de un tapón de lava que en 1957 se convirtió en un domo viscoso que ocupó todo el cráter.

**Graben o Fosa Chapala**, es el más desarrollado, tiene 80 km de longitud, 20 de ancho y orientación E–W, en su porción baja es ocupado por el Lago.

Una perforación de PEMEX a 2348 m de profundidad, ubicada en la ladera sur, cortó 500 m de roca ígnea basáltica color gris oscuro a negro y, más abajo, intercalaciones de aglomerado, tobas y derrames dacíticos.

Otro rasgo estructural interesante es que en la ladera norte del Lago afloran rocas clásticas volcánicas muy inclinadas que no aparecen en la porción sur.

**Vulcanismo en Michoacán**, aquí se concentró e intensificó la actividad volcánica Plio-Cuaternaria, bien delimitada por la cuenca del río Balsas al S y N, y por la depresión del Bajío y las fracturas Querétaro–San Miguel de Allende.

#### **4.3. Geología del Subsuelo**

Como resultado de cortes litológicos de pozos se infiere una alternancia de rocas volcánicas básicas y depósitos lacustres, de gran espesor. En el sector noreste del acuífero las rocas del subsuelo corresponden a derrames, tobas, brechas y piroclastos basálticos, con cientos de metros de espesor y amplia continuidad lateral. La secuencia volcánica descrita aflora en amplias extensiones de terreno y está cubierta por sedimentos continentales, constituidos por arcilla, arena y gravilla. Figura 3.

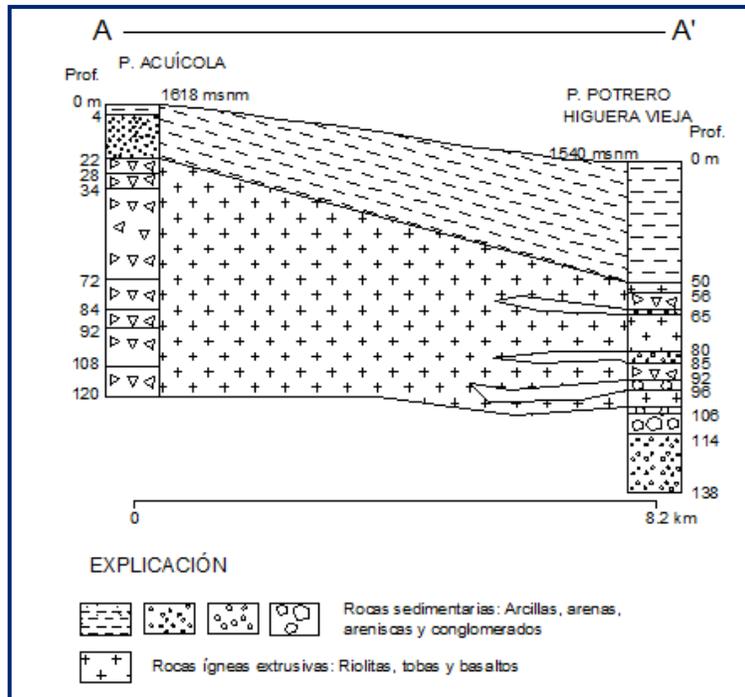


Figura 3. Perfil Geológico

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de Acuífero

Se definen dos tipos de materiales acuíferos interactuando dentro del contexto de una misma unidad hidrogeológica; uno constituido por rocas basálticas (confinado a semiconfinado) y otro formado en depósitos granulares de origen aluvial y fluvial (libre). El primero tiene mayor importancia relativa que el segundo.

**Acuífero volcánico basáltico**, comprende el 95% de la superficie del acuífero, tiene gran espesor, propiedades hidrodinámicas heterogéneas y marcada influencia del patrón geológico estructural que determina su ocurrencia, cuantía y distribución. Particular importancia hidrogeológica reviste sus irregularidades entre superficies de deposición de cada evento eruptivo, provocadas por intemperismo, erosión y fracturamiento, alteraciones que influyen además sobre el condicionamiento de acuitardos o acuífugos y sobre la mineralización del agua subterránea.

**Acuífero Granular**, ubicado en la porción central del acuífero, es material poco consolidado, constituido por interdigitaciones de grava, arena, limo y arcilla, con unos 20 m de espesor en el límite oriental, se localizan en planicies y valles intermontanos.

Por sus restringidas dimensiones son incapaces de soportar la explotación intensiva de sus fuentes, solo aprovechables para fines domésticos o abrevadero mediante norias someras de bajo caudal.

## 5.2. Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades realizadas en el estudio de 2007, las características hidráulicas del acuífero se estimaron de pruebas de bombeo a gasto constante y variable. Se utilizó el método de interpretación de Jacob.

La ecuación para gasto escalonado es  $s_t = BQ + CQ^2$  y  $a = (2.3Q / 4\pi T) \log(2.25Tt/s^2S)$ , para gasto constante; ambas consideran flujo no estable. La ubicación de los pozos de prueba abarca la mayor parte del acuífero.

Las tablas 2 y 3, muestran los resultados de las pruebas de bombeo.

Tabla 2. Resultados de pruebas de aforo.

MUNICIPIO	LOCALIDAD	TIPO DE OBRA	USO	RESULTADOS DE PRUEBAS DE BOMBEO ESCALONADO							LATITUD	LONGITUD
				N. E., m	FECHA	PROF., m	GASTO, lps	ND, m	q, lps/m	T, m <sup>2</sup> /s		
TIZAPAN	TIZAPAN	POZO	ACUICOLA	1.87	07.01.98	120.00	18.3	34.18	0.63	4.41E-04	20°09'46.5"	103°04'17.2"
TIZAPAN	EMILIANO ZAPATA	POZO	DOMESTICO	43.00	16.05.90	119.00	17.1	95.00	55.56	5.56E-02	20°09'56"	102°59'38"
TUXCUECA	LA COFRADIA	POZO	DOMESTICO	30.00	01.10.86	100.00	33.0	80.00	2.98	3.47E-03	20°08'40"	103°10'48.2"
TIZAPAN	EL VERDE	POZO	AGRICOLA	12.00	28.09.07	100.00	42.0	36.70	1.77	5.08E-03	20°10'26"	103°03'20"
TIZAPAN	EMILIANO ZAPATA	POZO	AGRICOLA	49.60	29.11.89	140.00	46.4	51.00	66.33	5.95E-02	20°08'43"	102°58'19"

Tabla 3. Resultados de pruebas de bombeo a gasto constante.

OBRA No.	LOCALIDAD	TIPO DE OBRA	USO	RESULTADOS DE PRUEBAS DE BOMBEO							LATITUD	LONGITUD
				FECHA	PROF., m	GASTO, lps	N. E., m	ND, m	q, lps/m	T, m <sup>2</sup> /s		
45	EPENCHE CHICO	POZO	MUNICIPAL	DIC. 2007	200*	18.0	129.00	159.40	0.80	0.80E-03	19°56'09.8"	103°00'45.6"
47	LAS LIEBRES	POZO	SERVICIOS	DIC. 2007	96.00	12.0	42.00	82.00	0.30	0.56E-3	20°09'32.8"	103°00'52.1"
54	TIZAPAN	POZO	MUNICIPAL	DIC. 2007	85.00	39.0	16.50	27.90	3.42	3.40E-03	20°09'06.8"	103°02'52.0"

El caudal específico y la permeabilidad guardan una relación directa independientemente del sistema de flujo, método de interpretación y medio físico de que se trate, para fines prácticos se cumple:

$$q \approx T$$

El caudal de extracción de las pruebas fluctúa entre 12.0 y 46.4 lps, con 24.0 lps de promedio, la profundidad varía entre 85 a 200 m, con 150 m de profundidad media de pozos. El gasto específico varía 0.3 a 66.3 lps/m, con un promedio de 9.0 lps/m.

El coeficiente de transmisividad varía de  $4.41 * 10^{-4}$  a  $5.95 * 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, con un valor promedio de transmisividad de  $1.30 * 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

Asumiendo 105 metros de espesor saturado efectivo promedio, captado por los pozos de prueba, la conductividad resulta de  $1.23 * 10^{-4}$  m/s.

### **5.3. Piezometría**

El acuífero cuenta con algunos datos anteriores disponibles del nivel estático, eventualmente desde el inicio de la operación de algunos pozos, y con los niveles obtenidos durante el último censo, realizado para el estudio de 2007.

### **5.4. Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

La distribución de la profundidad al nivel estático para el acuífero Tizapán, se presenta en la figura 4, en la que se observa que el nivel varía entre 5 y 60 m de profundidad; niveles de 5 a 10 m se encuentran próximos a la Laguna, en la porción occidental del acuífero el nivel fluctúa de 20 a 60 m, entre 5 y 40 en su porción oriental, de 30 a 35 m en los alrededores del poblado Tizapán, y 60 m de profundidad cerca de la margen izquierda del río Los Sauces. Figura 4.

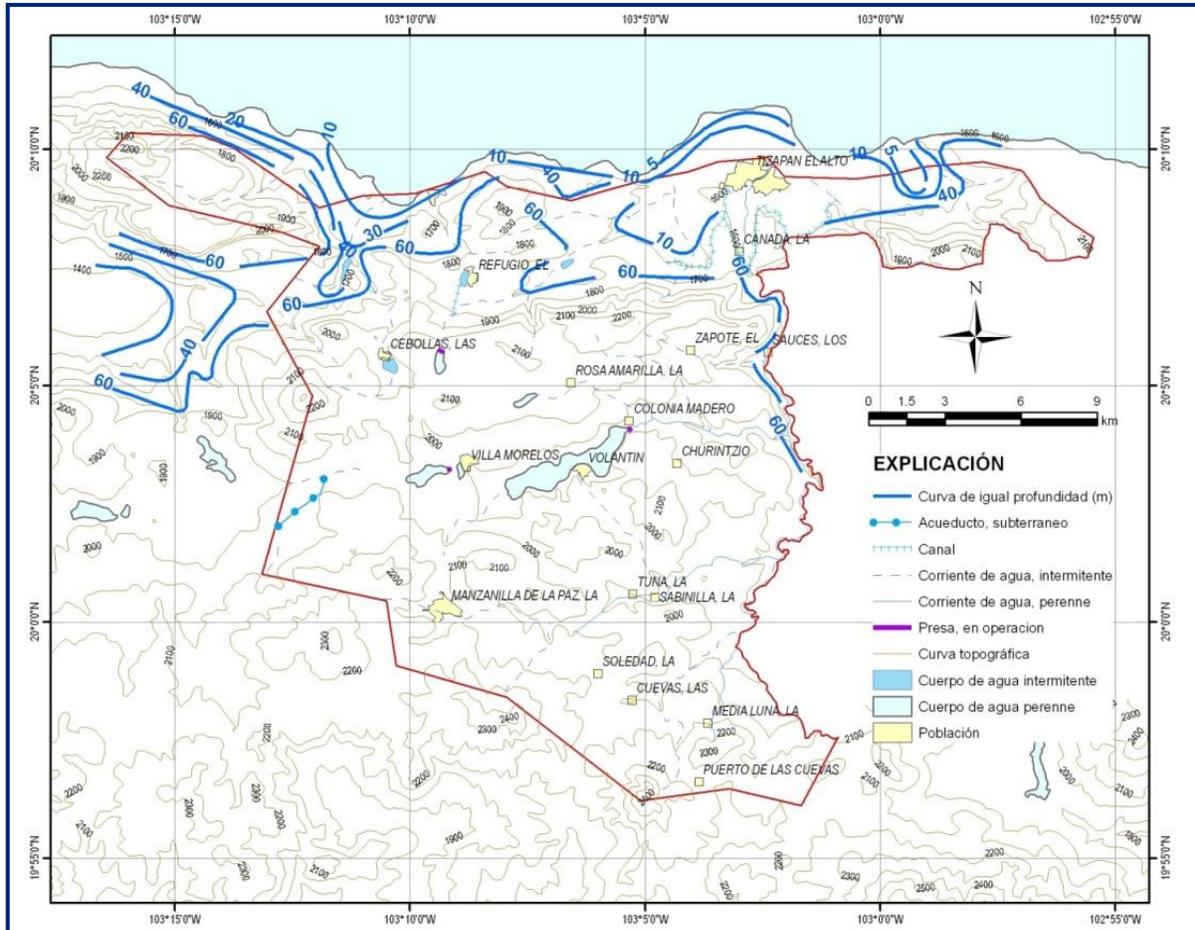


Figura 4. Profundidad al nivel estático (m) 2007

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

En lo que respecta a la configuración de la elevación del nivel estáticos para diciembre de 2007 varía de 1550 a 1520 msnm, Figura 5; se deduce que las sierras volcánicas circundantes aportan flujos de agua al Lago, que el gradiente llega a valores de 10 al millar, que en la porción central del acuífero se forma un parteaguas hidrodinámico y que los arroyos del flanco centro oriental son perennes y descargan flujo base procedente del acuífero ribereño.

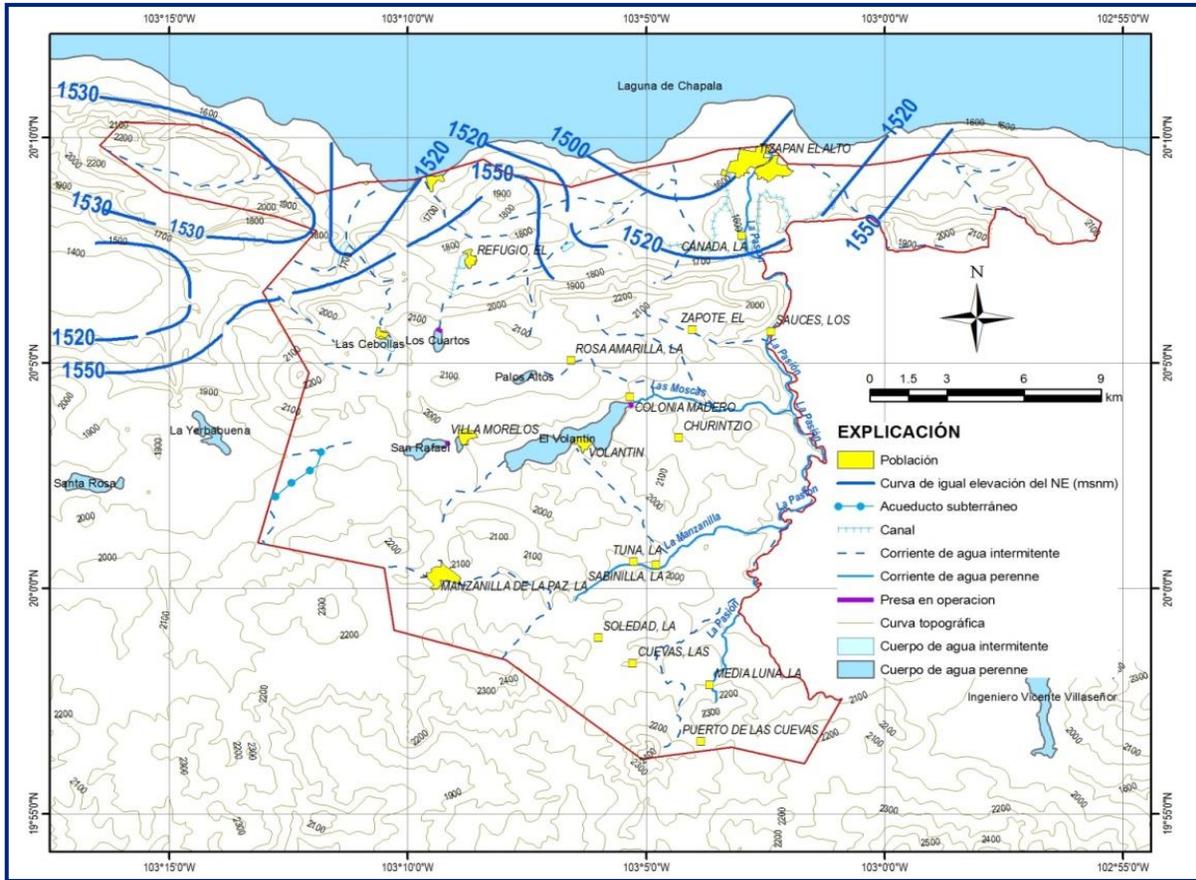


Figura 5. Elevaciones de nivel estático (msnm) 2007

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

Para determinar la evolución de niveles piezométricos con respecto al tiempo fueron tomados en cuenta valores de profundidad para el periodo 1992-2007.

El plano de la Figura 6 define descensos piezométricos máximos de 1 m, recuperaciones de igual magnitud y en general una posición estable del nivel.

Por tal motivo se concluye que el acuífero se encuentra en condiciones de equilibrio. Es decir, la extracción y recarga son equivalentes, ya 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.

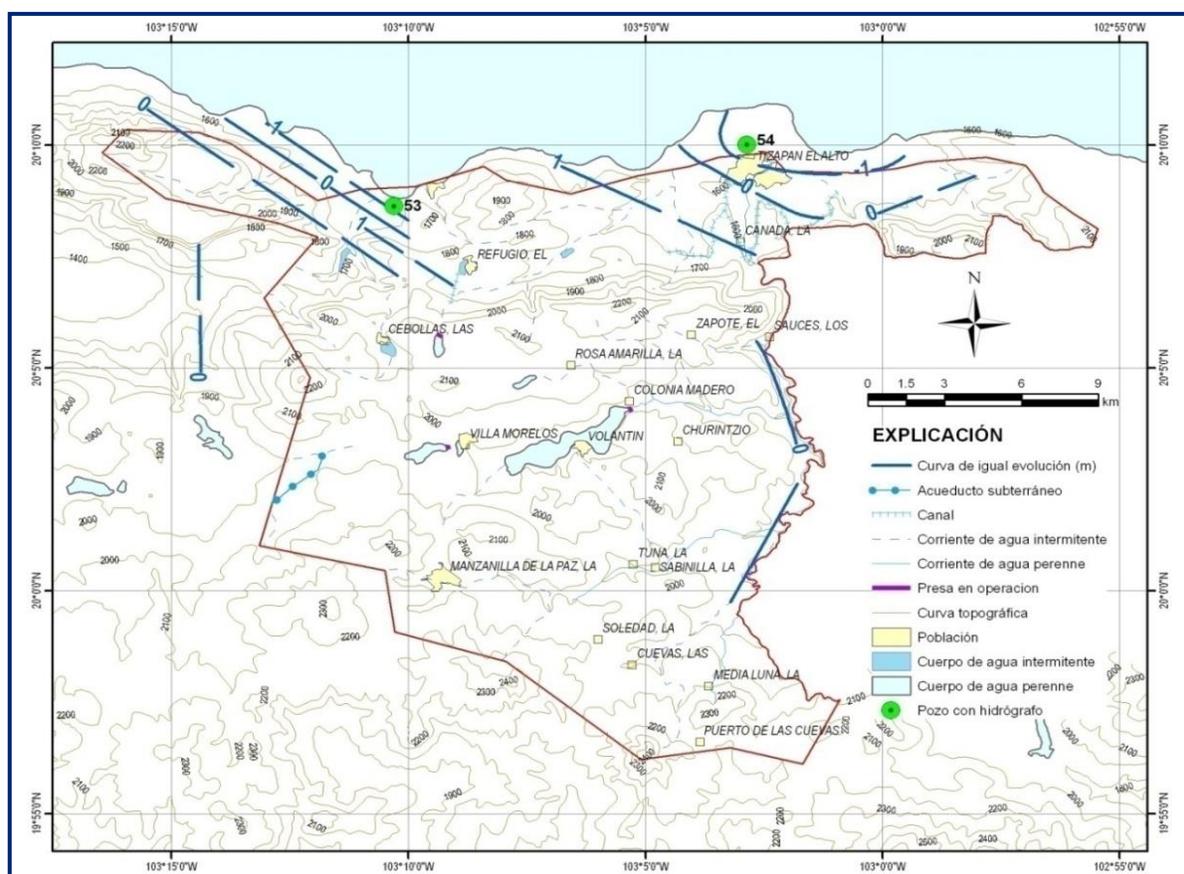


Figura 6. Evolución de niveles estáticos en m (1992 – 2007)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2007, se tomaron muestras de agua para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis, la conductividad eléctrica del agua subterránea varía entre 159 y 320 micro mohs-cm, se asocia con bajo contenido de sales, poco tiempo de residencia y pequeñas distancias de recorrido en el subsuelo.

La salinidad varía de 223 a 326 con promedio 264.1 ppm de SDT, la norma es 1000 para consumo humano. El agua del acuífero pertenece a la clase cálcico magnésico sódica carbonatada, con alcalinidad primaria superior al 50%, es un agua blanda en proporción con su contenido de sólidos disueltos.

La calidad físico química del agua es apropiada para fines potables.

Para uso agrícola resulto clase C2S1 y C1S1, significa peligro de salinidad medio o bajo y bajo índice de relación de adsorción de sodio.

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS**

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo realizado en el año 2007, se registraron 93 obras en el acuífero que aprovechan las aguas subterráneas, de los cuales el 67.28% se destinan a uso agrícola, 26.41% a público urbano, 0.33% a doméstico, 0.81% a actividades pecuarias y 5.17% a servicios.

El 62% de las bombas que utilizan los pozos es tipo sumergible, 29% turbina vertical, 2% autocebante y 7% centrífuga; 87% de los equipos tienen motor eléctrico, 13% de combustión interna.

El 93% de los aprovechamientos corresponde a pozos y 7% a norias. Los equipos de bombeo tienen descarga de 1 a 8" de capacidad; 27% 4", 26% 3", 11% 2", 16% 8", 18% 6" y 2% 1".

La extracción total es de 8.6 hm<sup>3</sup>/año. De los cuales el 34.9% (3.0 hm<sup>3</sup>/año) se destina a uso público urbano, 59.42% (5.11) para riego, 0.81% (0.07) a uso pecuario, 4.42% (0.38) a servicios y 0.35% (0.03) a fines domésticos.

## **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:

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

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 de un acuífero:

$$\text{Recarga Total – Descarga Total = Cambio de almacenamiento}$$

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga natural considerándola como incógnita de la ecuación de balance. De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$Rv + Eh + Ri - B - Sh - ETR - Qb = \pm \Delta V(s)$$

Donde:

- Rv:** Recarga vertical
- Eh:** Recarga por flujo subterráneo horizontal
- Ri:** Recarga inducida
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- ETR:** Evapotranspiración
- Qb:** Caudal base
- $\Delta V(s)$ :** Cambio en el volumen almacenado

## 7.1. Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, así como las fugas en las redes de abastecimiento.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero Tizapán, las entradas están integradas por la recarga vertical ( $Rv$ ) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo ( $Eh$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero, Este volumen se integra en la componente de recarga inducida ( $Ri$ ).

### 7.1.1. Recarga vertical

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$Rv + Eh + Ri - B - Sh - ETR - Qb = \pm \Delta V(S)$$

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B + ETR + Sh + Qb - \Delta V(s) - Eh - Ri$$

### 7.1.2. Recarga por flujo subterráneo horizontal

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para 2007, de la red de flujo subterráneo (Figura 7) y de los valores de transmisividad obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona, de acuerdo a la siguiente expresión:  $Q = BiT$ .

Donde:

**B:** Ancho (m) del canal de flujo

**i:** Gradiente hidráulico ( $i = (h_2 - h_1) / L$ ); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

**T:** Transmisividad ( $m^2/s$ ) en el canal de flujo.

La Tabla 4 muestra la estimación de este flujo.

Tabla 4. Cálculo de entradas horizontales por flujo subterráneo.

CANAL	LONGITUD, L	ANCHO, B	h	Gradiente, i	Transmisividad, T	Caudal, Q	V
	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[ $m^2/s$ ]	[ $m^3/s$ ]	[ $Mm^3/año$ ]
E1	1,000.00	4175.0	3.50	0.0035	0.0025	0.03653	1.2
E2	1,000.00	5845.0	3.50	0.0035	0.0025	0.05114	1.6
E3	1,000.00	6346.0	3.50	0.0035	0.0025	0.05553	1.7
E4	1,000.00	7181.0	3.50	0.0035	0.0025	0.06283	2.0
SUMA		23.5				0.2060	6.5

Como resultado se obtuvo un valor de **6.5  $hm^3/año$**  que representa las entradas por flujo horizontal a la zona de balance de aguas subterráneas

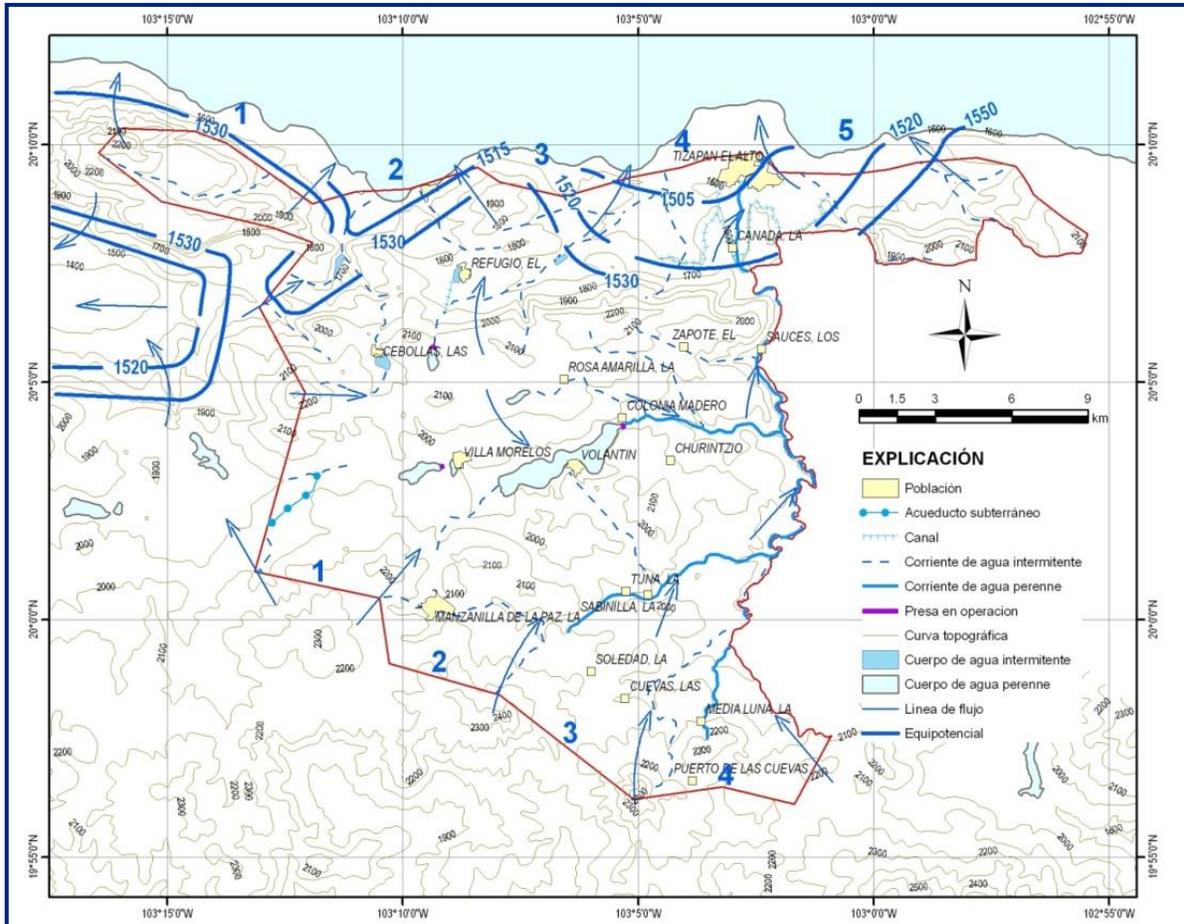


Figura 7. Red de flujo subterráneo, 2007

### 7.1.3. Recarga inducida

Aun en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen de agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego.

Para este caso, se aplican a la agricultura de riego aproximadamente  $5.11 \text{ hm}^3/\text{año}$  y considerando que el 15% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, los que representa  $0.77 \text{ hm}^3/\text{año}$  de recarga por retornos de riego.

El volumen destinado para el uso público-urbano es de  $3.0 \text{ hm}^3/\text{año}$ , considerando que un 30% del volumen total utilizado retorna al acuífero por fugas en las redes de abastecimiento, la recarga resulta de  **$0.9 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

El total de la Recarga inducida es de  **$1.7 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

## **7.2. Salidas**

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero. Para el Acuífero Tizapán las descargas están representadas por el bombeo (B); descarga por evaporación (ETR); Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y por flujo base a través de ríos o manantiales (Qb).

### **7.2.1. Evapotranspiración**

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

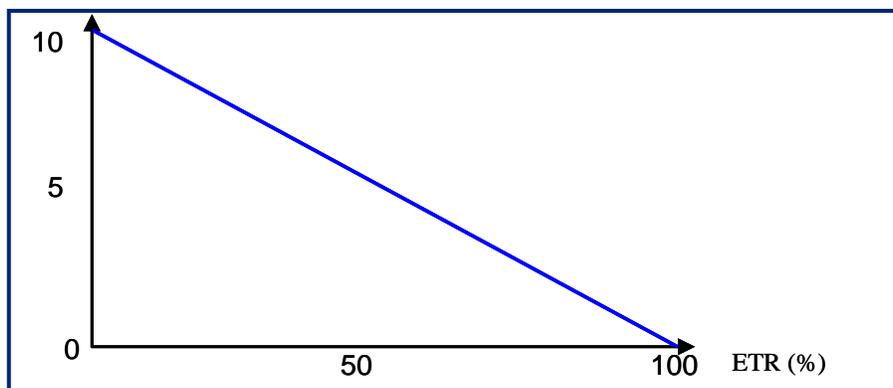
Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que toma en cuenta la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración.

La evapotranspiración tiene dos componentes: la evaporación directa del agua subterránea y la transpiración de las plantas. La primera tiene lugar, donde aflora la superficie freática, así como en las áreas adyacentes a ésta, donde la misma superficie está poco profunda. En el subsuelo, el agua puede ascender, a partir del nivel freático, hasta una altura ("la altura capilar") cuyo valor depende del tamaño de los poros o fisuras; en los materiales granulares esa altura es inversamente proporcional al tamaño de los granos, variando entre unos cuantos decímetros en las gravas, y cerca de tres metros en los materiales limo-arcillosos.

Este mecanismo de descarga se presenta en la zona donde los niveles freáticos están a profundidades no mayores a 10 metros.

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.

De la ecuación de Turc se determina que ETR = 647.1 mm, equivale a 82.97% de la lámina de lluvia anual, el 17.03% corresponde a escurrimiento directo e infiltración, probablemente el coeficiente de infiltración eficaz sea 15.32% ó 0.12 m/año.



El volumen evapotranspirado de agua freática es estimado admitiendo que el 5% de la superficie acuífera tiene 5 m de profundidad media al nivel estático, comprendiendo las orillas del lago y las márgenes de los escurrimientos superficiales perennes, que en ella es susceptible la evapotranspiración de agua freática y que se cumple la variación lineal propuesta entre el nivel del agua subterránea y el porcentaje de evapotranspiración.

La Evapotranspiración resulta de **6.9 hm<sup>3</sup>** anuales tal como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de la Evapotranspiración

Intervalo curvas (m)	n. e. promedio (m)	Area km <sup>2</sup>	% ETR	ETR (m)	ETR (hm <sup>3</sup> /año)
0 a 10	5.0	21.3	50.0	0.647	6.9

### 7.2.2. Bombeo

Con base en el censo e hidrometría realizados en el acuífero, se determinó que el volumen de extracción de agua subterránea es del orden de los **8.6 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.3. Salidas por flujo subterráneo horizontal

Bajo el mismo criterio que para las entradas por flujo subterráneo horizontal se tiene la Tabla 6, que presenta el flujo de salida estimado, de **6.8 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 6. Calculo de las salidas por flujo subterráneo horizontal.

CANAL	LONGITUD,		h	Gradiente, i	Transmisividad,		Caudal, Q	V
	L	ANCHO, B			T			
	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[m <sup>2</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[hm <sup>3</sup> /año]	
S1	10 000.0	7515.0	2.00	0.002	0.0025	0.03758	1.2	
S2	10 000.0	6346.0	2.00	0.002	0.0025	0.03173	1.0	
S3	10 000.0	5511.0	2.00	0.002	0.005	0.05511	1.7	
S4	10 000.0	8350.0	2.00	0.002	0.0025	0.04175	1.3	
S5	10 000.0	5010.0	2.00	0.002	0.005	0.05010	1.6	
SUMA		32.7				0.2163	6.8	

#### 7.2.4. Flujo base

Cuatro son las corrientes perennes con flujo base en el acuífero Tizapán; Media Luna, Manzanilla, Las Moscas y Pasión; las primeras tres confluyen a la última, se localizan en el lado oriental de la cuenca.

El desarrollo de cada una es 4.5, 9.6, 7.1 y 24.3 km, respectivamente, y 45.5 km la longitud total.

La conductividad hidráulica equivalente horizontal se considera  $1.0 \cdot 10^{-4}$  m/s, congruente con la litología de esos materiales, es correlacionable con el promedio de la permeabilidad para arenas limpias uniformes.

La curva de recesión adopta la forma exponencial siguiente,  $Q_b = Q_0 K^t$ ,  $Q_b$  es el gasto base en un tiempo  $t$  del estiaje,  $Q_0$  es el gasto base inicial para  $t = 0$ ;  $K$  es una constante que depende de las características hidrogeológicas de la cuenca, se determina de la pendiente de la recta de recesión del hidrograma, se considera de 0.90,  $Q_0$  se considera en un valor mínimo inicial promedio de 0.1 m<sup>3</sup>/s.

El estiaje dura de noviembre a mayo, 210 días en promedio y se consideran 105 días para estimar el gasto base promedio. A partir de estos datos se estima **3.5 hm<sup>3</sup>/año** el flujo base para 45.5 km de corrientes perennes.

#### 7.3. Cambio de almacenamiento

La evolución piezométrica relativa al lapso diciembre de 1992–diciembre de 2007, figura 6, muestra que el nivel permanece sin variaciones significativas no obstante de haber abarcado un periodo de tiempo de 16 años, por tanto, la resultante neta de la evolución es nula a nivel de cuenca; así:

$$\Delta V(s) = AB * hm * Sy \approx 0$$

#### Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (Rv), por lo que despejando este término de la ecuación definida se tiene:

$$Rv = (B + Sh + ETR + Qb) - (Eh + Ri) \pm \Delta Vs$$

$$Rv = (8.6+6.8+6.9+3.5) - (6.5 +1.7) \pm 0$$

$$Rv = 25.8 - 8.2$$

$$Rv = 17.6 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a:

$$Rt = Rv + Eh + Ri = 17.6 + 6.5 + 1.7 = 25.8 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

## 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:

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

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 (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso particular, su valor es de **25.8 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales 24.1 son recarga natural y los 1.7 hm<sup>3</sup> restantes corresponden a la recarga inducida.

## **8.2. Descarga natural comprometida**

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 ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes.

La salida horizontal calculada alimenta al Lago de Chapala, se considera como descarga comprometida para no afectar adversamente el balance del Lago.

Se podría aprovechar el 50% de la descarga por evapotranspiración y dejar otro 50% como si correspondiera a un usuario convencional registrado; en último término, se tendría tiempo suficiente para modificar el manejo propuesto si se toma en cuenta el incremento gradual de la extracción y el retraso de sus efectos.

Del flujo base asimismo se podría aprovechar la mitad de su volumen y la parte complementaria fijarla como gasto ecológico.

Bajo estas consideraciones la descarga natural comprometida es,  $DNCOM = 6.8 + 3.45 + 1.75$

**$DNCOM = 12.0 \text{ hm}^3/\text{año}.$**

## **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 (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 **14,317,713 m<sup>3</sup> 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 25.8 - 12.0 - 14.317713 \\ \text{DMA} &= -0.517713 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **517,713 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 2007. Elaboración de los documentos de respaldo de la disponibilidad media anual de agua en los acuíferos (1413) Altos de Jalisco, (1436) Arenal, (1428) Chapala, (1429) Tizapán y (1447) Yahualica, en el estado de Jalisco. Realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1975. Estudio Geológico Regional de la Cuenca Lacustre del Altiplano Mexicano (área Jalisco-Michoacán). Realizado por la Compañía Caster, S. A.