

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Tomatlán (1424), Estado  
de Jalisco***

*Publicada en el Diario Oficial de la Federación*  
*20 de abril de 2015*

# Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CDLXXX REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
ESTADO DE JALISCO							
1424	TOMATLÁN	51.2	28.8	18.222473	5.5	4.177527	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.



**Comisión Nacional del Agua**  
**Subdirección General Técnica**  
**Gerencia de Aguas Subterráneas**  
**Subgerencia de Evaluación y**  
**Ordenamiento de Acuíferos**

***DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN  
EL ACUÍFERO TOMATLÁN (1424), ESTADO DE JALISCO***

**México D.F., Marzo de 2011**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	1
1.1.	Localización .....	1
1.2.	Situación administrativa del acuífero .....	4
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	4
3.	FISIOGRAFÍA .....	5
3.1.	Provincias fisiográficas .....	5
3.2.	Clima .....	5
3.3.	Hidrografía .....	6
3.4.	Geomorfología .....	7
4.	GEOLOGÍA .....	8
4.1.	Estratigrafía .....	10
4.2.	Geología estructural .....	11
4.3.	Geología del subsuelo .....	12
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	13
5.1.	Tipo de acuífero .....	13
5.2.	Parámetros hidráulicos .....	13
5.3.	Piezometría .....	13
5.4.	Comportamiento hidráulico .....	13
5.4.1.	Profundidad al nivel estático .....	13
5.4.2.	Elevación del nivel estático .....	14
5.4.3.	Evolución del nivel estático .....	16
5.5.	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	16
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA .....	17
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	17
7.1.	Entradas .....	17
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	18
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	18
7.1.3.	Recarga inducida (Ri) .....	19
7.2.	Salidas .....	20
7.2.1.	Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	20
7.2.2.	Evapotranspiración (ETR) .....	20
7.2.3.	Descarga de manantiales (Dm) .....	22
7.2.4.	Bombeo (B) .....	22
7.3.	Cambio de almacenamiento ( $\Delta V_S$ ) .....	22
8.	DISPONIBILIDAD .....	23
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	23
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	23
8.3.	Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS) .....	23
8.4.	Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS) .....	24
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	24

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa).

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

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

### **1.1. Localización**

El acuífero Tomatlán, definido con la clave 1424 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua (SIGMAS), se localiza en la porción este del estado de Jalisco, entre los paralelos 19°25' y 20°16' de latitud norte y los meridianos 104°31' y 105°34' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 4,547 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con los acuíferos Vista del Mar y Santa María, al este con los acuíferos Mascota, Maravilla, Mixtlán y Unión de Tula, al sur con los acuíferos La Huerta y Miguel Hidalgo, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco, finalmente limita al oeste con el Océano Pacífico (figura 1).

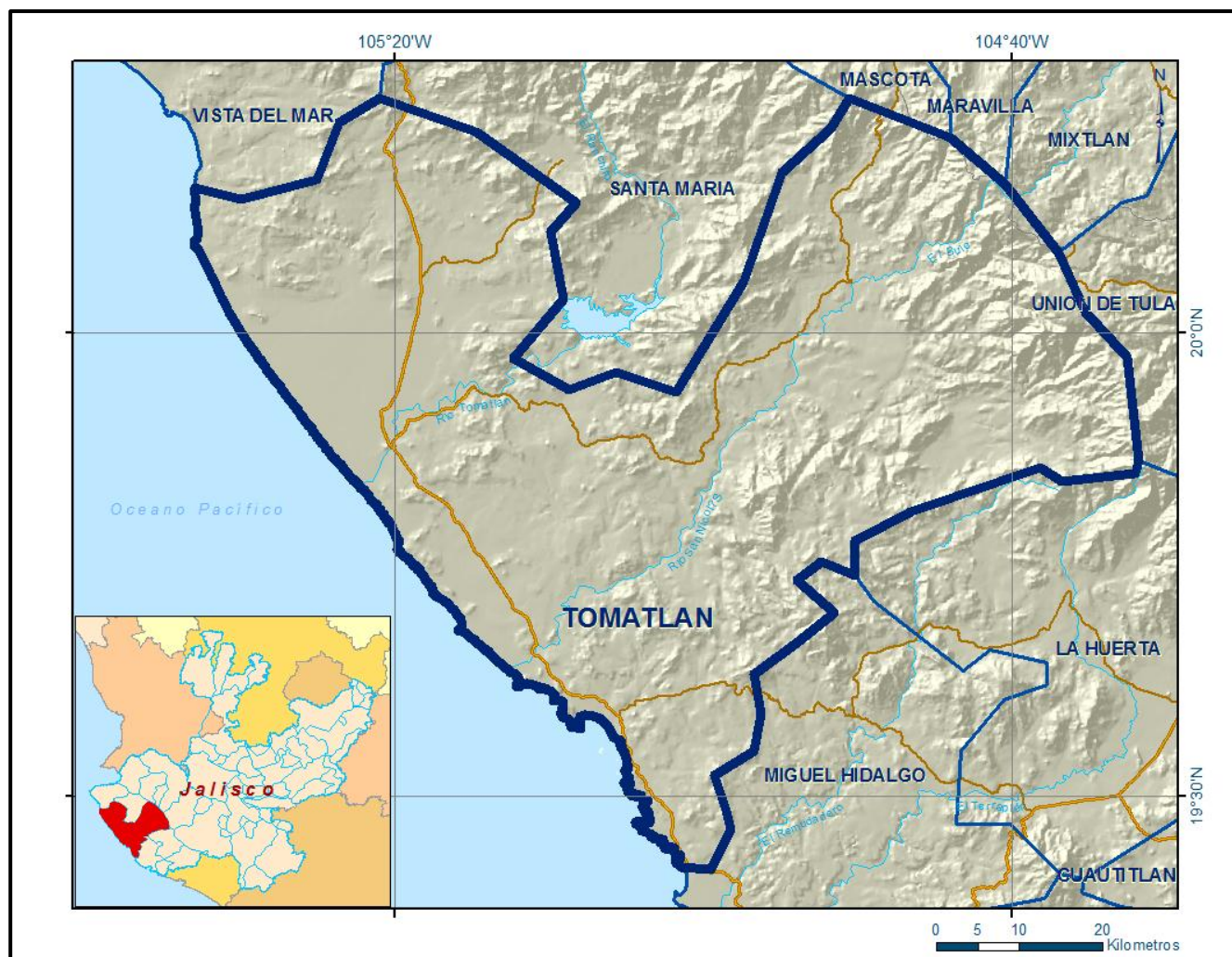


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el área del acuífero cubre parcialmente a los municipios La Huerta, Villa Purificación, Cabo Corrientes, Ayutla, Cuautla, Talpa de Allende y Tomatlán, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1424 TOMATLAN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	105	32	56.5	20	9	24.9	
2	105	29	54.0	20	8	38.2	
3	105	25	2.0	20	9	57.8	
4	105	23	35.7	20	13	36.9	
5	105	20	57.5	20	15	13.0	
6	105	14	44.6	20	13	3.7	
7	105	8	12.9	20	8	24.9	
8	105	9	52.5	20	6	32.1	
9	105	9	6.0	20	2	13.2	
10	105	12	18.5	19	58	20.8	
11	105	8	39.5	19	56	21.3	
12	105	5	40.2	19	57	27.7	
13	105	1	47.9	19	56	8.0	
14	104	57	22.3	20	3	19.5	
15	104	54	56.3	20	10	24.4	
16	104	51	43.8	20	13	17.0	
17	104	50	32.8	20	15	11.2	
18	104	44	1.9	20	12	39.0	
19	104	40	26.6	20	9	37.9	
20	104	37	0.9	20	5	12.4	
21	104	35	14.6	20	1	20.0	
22	104	32	35.3	19	58	27.4	
23	104	31	48.8	19	51	42.5	
24	104	32	2.1	19	50	56.0	
25	104	36	47.6	19	50	22.8	
26	104	38	13.9	19	51	15.9	
27	104	46	31.8	19	48	23.3	
28	104	50	10.8	19	46	30.5	
29	104	50	10.8	19	44	17.7	
30	104	52	23.6	19	45	10.8	
31	104	53	56.5	19	43	57.8	
32	104	51	30.5	19	41	51.7	
33	104	53	49.9	19	39	58.8	
34	104	56	42.5	19	37	52.7	
35	104	56	16.0	19	35	20.0	
36	104	56	42.5	19	32	54.0	
37	104	59	15.2	19	31	21.0	
38	104	58	28.7	19	28	48.3	
39	104	58	15.4	19	27	48.6	
40	104	59	28.5	19	25	15.9	
41	105	1	27.4	19	25	22.8	DEL 41 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO
1	105	32	56.5	20	9	24.9	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Tomatlán pertenece al Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Su territorio completo se encuentra vedado y sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda. En la porción oeste y centro-oeste del acuífero a través del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los Municipios de Tomatlán, La Huerta, Cihuatlán y Tonalá, Jal.”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de Septiembre de 1984. Esta veda es tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

El segundo decreto está vigente en el resto del acuífero y es el *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en 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 (DOF) el 07 de Diciembre de 1987. Esta veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua de 2011, los municipios La Huerta, Villa Purificación y Cabo Corrientes se clasifican como zona de disponibilidad 8 y los municipios Ayutla, Cuautla, Talpa de Allende y Tomatlán como zona de disponibilidad 9.

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

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS, VALLE DE GUADALUPE, PRIMO VERDAD, LA HUERTA, MIGUEL HIDALGO, CIHUATLÁN, 20 DE NOVIEMBRE, CUQUÍO, COLOTLÁN, TECOLOTLÁN, TOMATLÁN, TEQUILA Y LA BARCA, EN EL ESTADO DE JALISCO. Elaborado por la Universidad Nacional Autónoma de México para la Comisión Nacional del Agua en 2010.** Este estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero para determinar la disponibilidad media anual de agua



subterránea. Como parte de las actividades de campo se realizó un censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1. Provincias fisiográficas**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica del INEGI, el área que cubre el acuífero Tomatlán se encuentra ubicado dentro del sector occidental de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima. Está situado en una zona de traslapamiento de tres grandes provincias fisiográficas que le confieren fuertes contrastes topográficos y un ambiente tectónico complejo: el contacto entre la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico; entre la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur, y entre la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico. Estas zonas particulares definen la diversa litología, geología y morfología del territorio jalisciense.

La Provincia Sierra Madre del Sur inicia en la frontera entre los estados de Jalisco y Nayarit hasta el estado de Oaxaca cubriendo un área de 258,274 km<sup>2</sup>, aunque dentro del territorio jalisciense su extensión es aproximadamente de 246 km de longitud. Limita al norte con la Faja Volcánica Transmexicana; al sur, con el Océano Pacífico y al oriente, con las provincias de Sierras y Valles del Sureste y la parte sur de la Planicie Costera del Golfo (Velázquez y Ordaz, 1992). Su parte más prominente es muy angosta, formando un espinazo montañoso marginal hacia la costa.

#### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Tomatlán se encuentra en el rango del templado subhúmedo, al semicálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 24.9° C ( $17.7 < T < 32.1$ ). La climatología de la cuenca es heterogénea, con variaciones anuales predominantemente semiseco a húmedo, con otoño y primavera secos, e invierno de seco a húmedo, hasta el cálido, sin cambio térmico invernal bien definido. Los vientos son variables, en la zona central van en dirección preferente del oeste hacia el sur, sobre el municipio de Cabo Corrientes hacia el noroeste, y en la costa de La Huerta hacia el sureste.

La zona costera del acuífero pertenece al clima BS<sub>1</sub>(h)w, del tipo semiárido muy cálido, extendido como franja irregular desde la mitad de la costa del municipio de Tomatlán hasta la zona costera del municipio de la Huerta. Este tipo de clima impera sobre un 7% del territorio estatal, especialmente sobre la región litoral, con un régimen lluvioso entre junio y octubre, que es cuando se tiene la mayor precipitación. Los vientos dominantes tienen dirección preferente hacia el sur y al sureste.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de las estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **1286 mm** y **24.9 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2055.5 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos períodos de ocurrencia uno en verano de junio a octubre, cuando se registran los valores más altos, y otro de lluvias que abarca de febrero a abril, con precipitaciones menos significativas. En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, julio es el mes más cálido, con una temperatura media de 32.1°C, en tanto que el mes de febrero registra la menor temperatura media de 17.7°C.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 15 “Costa de Jalisco”, Cuencas del R. Tomatlán-Tecuán (parte oeste del acuífero), R. San Nicolas-Cuitzmala (parte este del acuífero) y R. Chacala-Purificación (en una pequeña zona al este del acuífero).

La cuenca del río Tomatlán-Tecuán pertenece a la vertiente del Pacífico, drenando una superficie de 3,795 km<sup>2</sup>, equivalente al 4.8% de la superficie estatal. Incluye localidades como El Tecuán y Tomatlán, de las cuales toman nombre sus corrientes principales. El drenaje de la cuenca es de tipo subparalelo y dendrítico, conformado por numerosas corrientes intermitentes y perennes que desembocan en el Océano Pacífico (INEGI, 2001); sobresalen los ríos: María García, Tomatlán, Los Prietos y Tecuán. Sin embargo, las principales corrientes superficiales en la cuenca de Tomatlán son los ríos Tomatlán, San Nicolás y María García, originados en la sierra de Cacoma, los cuales presentan una dirección preferencial del noreste al suroeste hasta desembocar, casi en forma paralela, en el Océano Pacífico.

La cuenca del río Tomatlán tiene su origen en la Sierra de Talpa. Los recursos hídricos de este río proporcionan agua a la Presa Cajón de Peñas, que es la obra de embalses de mayor importancia dentro del estado de Jalisco con 707 hm<sup>3</sup>, ya que irriga una superficie preferentemente agrícola de 70,000 ha. Los recursos hídricos de este embalse se utilizan para irrigar al distrito de riego 93, que

aguas abajo confluye en el río San Nicolás. El curso de este río forma un parteaguas en la Sierra de Talpa y Cacoma, dividiendo a los municipios de Villa Purificación y La Huerta con Tomatlán.

El río Tomatlán en su trayecto al Pacífico riega los valles del municipio, desembocando en el lugar conocido como "Punta Roca Negra". Se ha reportado un volumen medio anual de 1,608 hm<sup>3</sup> correspondiente al período 1994-95 (INEGI, 2001). Mientras que el río San Nicolás nace en la región sur de la serranía de Velasco situada en la sierra de Cacoma. Esta corriente superficial cruza los municipios de Tomatlán y la Huerta, para finalmente desembocar en Punta Perula al norte de Punta Careyes.

### **3.4. Geomorfología**

El relieve montañoso de la Sierra Madre del Sur muestra varias etapas de deformación, siendo más evidente la intrusión de cuerpos graníticos en las rocas metasedimentarias (Ferrari *et al.*, 1997), sedimentarias, ígneas preexistentes y secuencias volcanosedimentarias. Los procesos sedimentarios constituyen sierras plegadas y bloques colgados, mientras que el relieve de las rocas volcanosedimentarias e ígneas es de sierras complejas con pendientes escarpadas. Para los cuerpos intrusivos, el relieve es abrupto en zonas poco erosionadas y se exhibe como formaciones de topografía suave en zonas erosionadas, llegando a presentar un intemperismo esferoidal. La región se encuentra en una etapa de madurez avanzada dentro del ciclo geomorfológico (INEGI, 2001).

La mayor parte del territorio de la cuenca de Tomatlán está ocupado por el municipio del mismo nombre, el cual cuenta con aproximadamente 45 km de litoral y una topografía más o menos plana. La parte central forma un valle que se extiende alrededor de la cabecera municipal y la costa abarcando una amplia zona, con altitudes que van del nivel del mar hasta los 600 msnm. La zona noroeste, en dirección al municipio de Talpa de Allende, forma parte de la Sierra Volcánica Transversal, conformando su topografía altitudes heterogéneas entre los 600 y 2100 msnm. Hacia el extremo nororiental de la cuenca, sobre el municipio de Villa Purificación, se despliega una topografía preferentemente semiplana y plana, sobre la cual, las laderas de la sierra y lomas, registran alturas entre los 400 y los 800 msnm. La parte sur de la cuenca, correspondiente al municipio de La Huerta, se caracteriza por las planicies predominantes en dirección a la zona costera.

El contraste topográfico tiene lugar en el extremo nororiental del municipio de Tomatlán, hacia la frontera con los municipios de Talpa de Allende, Cuautla y Ayutla, que en promedio cuentan con una topografía extensamente accidentada. La porción correspondiente a Talpa de Allende es semiplana con elevaciones entre los 300 a 600 msnm, sin embargo, hacia Cuautla y Ayutla, sobre las estribaciones de la Sierra del Arrastradero y las Sierras de Bosques, es muy accidentada con alturas entre los 1,600 y 2,100 msnm.

#### 4. GEOLOGÍA

La geología superficial de la cuenca de Tomatlán muestra una presencia predominantemente granítica intercalada con rocas ígneas extrusivas ácidas y tobas. Sin embargo, sobre la zona costera, esta intercalación es al norte con materiales residuales y aluviales, al centro con materiales aluviales, ígneos y conglomerados y al sur con materiales tobáceos (figura 2).

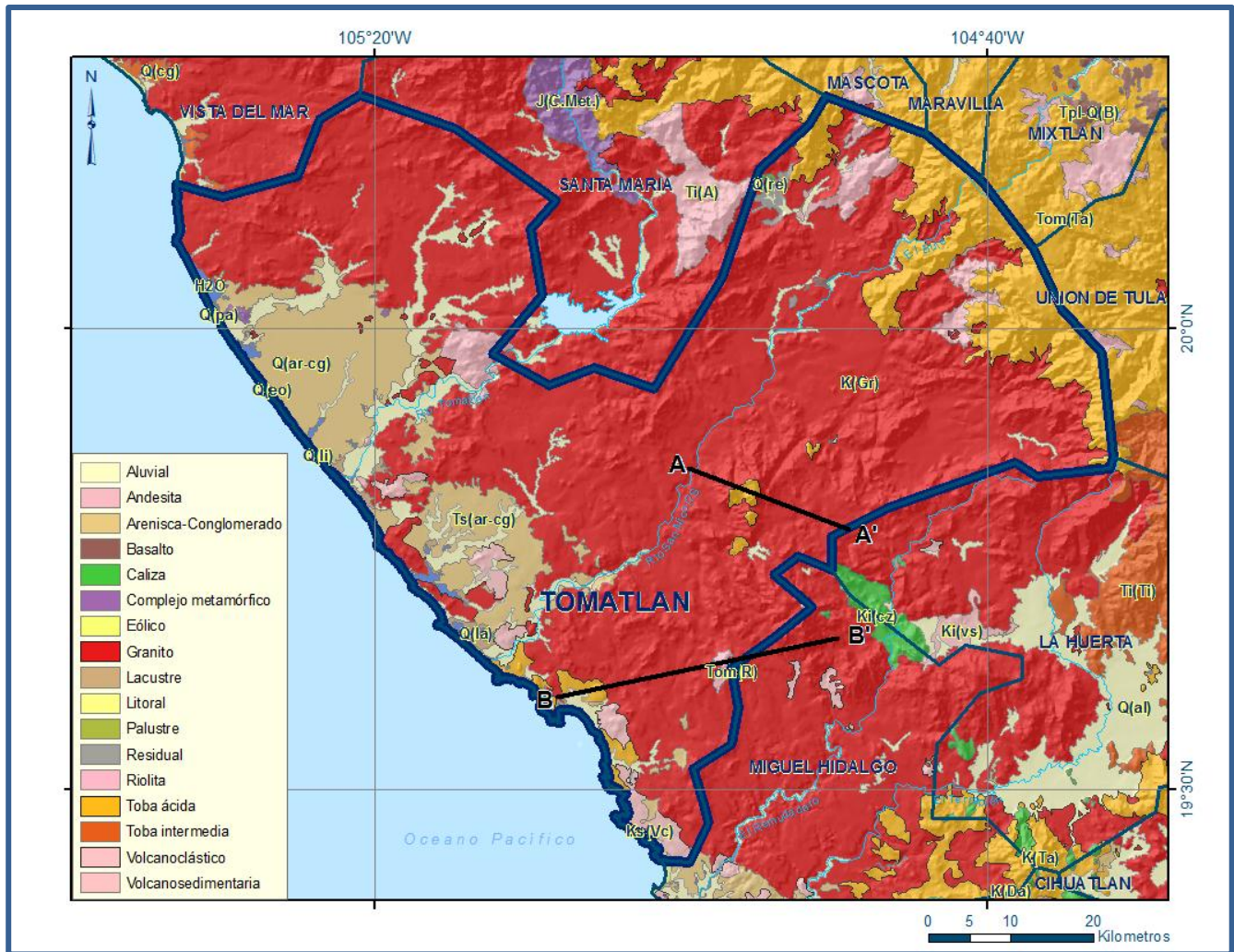


Figura 2. Geología general del acuífero

La zona de estudio está situada en la provincia de la Sierra Madre del Sur, la cual constituye una gran estructura morfológica formada por un conjunto de bloques montañosos discontinuos y valles de diferentes dimensiones, cuya composición litológica con un basamento de rocas metamórficas fueron desplazadas durante el Jurásico. Así mismo, en esta región existen rocas volcánicas y vulcanoclásticas del Cretácico temprano y del Terciario, así como formaciones impermeables compuestas de dolomías, calizas recrystalizadas y lechos de arcilla, arena y limo del Paleozoico, Triásico y Jurásico (figura 2). En particular, sobre la cuenca de Tomatlán incide la subregión

geomorfológica denominada Sierras Transversales, constituida por una serie de cadenas montañosas y valles de calizas y dolomías del Cretácico altamente karstificadas, con un espesor aproximado de 2800 m; mesetas y valles altos de rocas sedimentarias continentales del Terciario, aluvión del Holoceno y grandes depósitos de sedimentos piroclásticos del Cuaternario.

En una perspectiva regional, las unidades litológicas surgentes se encuentran representadas por secuencias vulcanosedimentarias de rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas; ubicadas en un rango cronoestratigráfico comprendido entre el Mesozoico y el Cenozoico (INEGI, 2001). El desarrollo de un arco volcánico insular en el Cretácico Temprano originó en la región costera un mar marginal provocando la formación rocosa híbrida que asocia calizas, derrames andesíticos, depósitos vulcanoclásticos y tobas de grandes espesores. En esta misma época, la línea costera sufrió desplazamientos debido a fluctuaciones en el basamento regional, desarrollándose caliza de ambiente de plataforma, especialmente en dirección del municipio de La Huerta.

La unidad de roca ígnea intrusiva ácida del Cretácico indiferenciado, K (Ígnea), aflora en toda la región costera; está constituida mayoritariamente por granito, granodiorita y tonalita, de textura holocristalina equigranular y alotriomórfica; su estructura es compacta masiva y en ocasiones en forma esferoidal debido al intemperismo. En algunas localidades se observan diques de composición diorítica con espesores entre 2 y 4 m. Esta unidad intrusión a rocas metamórficas del Jurásico, a secuencias vulcanosedimentarias, a rocas sedimentarias calcáreas del Cretácico Inferior y a arenas arcillosas del Cretácico Superior. Esta unidad subyace en discordancia a rocas volcánicas de composición ácida e intermedia y a depósitos areno-conglomeráticos del Terciario, así como a basalto y depósitos continentales del cuaternario. Se ha considerado que este plutonismo tiene migración espaciotemporal del Cretácico Superior al Terciario Inferior; sin embargo, por sus características físicas y relaciones estratigráficas se le asignó una edad del Cretácico Indiferenciado.

Una de las secuencias metasedimentarias cartografiada como esquisto se sitúa precisamente sobre la Sierra Madre del Sur; ésta consiste en un complejo metamórfico regional constituido principalmente por esquisto y gneis cuarzo-feldespáticos y, en menor proporción, por filita pelítica. Ambos componentes son derivados de la arenisca caracterizados por su textura esquistosa y granoblástica con una estructura de segregaciones, pliegues y superficies, mientras que la filita es lepidoblástica, aunque los tres tipos de roca corresponden a las facies de esquistos verdes. En estas formaciones se muestran fracturas y afallamientos, lo que propició la intrusión de cuerpos graníticos, que fueron incluidos, de acuerdo con sus relaciones estratigráficas, en el Cretácico indiferenciado. Se ha determinado, mediante estudios radiométricos, que el primer evento termal ocurrió en el Jurásico (Guerrero, 1978), correspondiente probablemente a la prolongación del complejo metamórfico Xolapa.

Los afloramientos rocosos metamórficos más antiguos del estado de Jalisco, pertenecientes al Jurásico, se localizan al sur de Puerto Vallarta, noreste de Mascota, oeste de Talpa de Allende y noreste de Tecalitlán. En la porción occidental de la provincia, durante el Cretácico superior, fue emplazado un gran cuerpo de rocas ígneas intrusivas (batolito), lo que provocó fuertes deformaciones o dislocaciones en las rocas resistentes. Así, durante el periodo terciario se originaron depósitos rocosos volcánicos que cubrieron gran parte del área, formando al mismo tiempo depósitos de rocas sedimentarias continentales. En el cuaternario se formaron los depósitos de suelos que se encuentran en los litorales y cerca de las costas, así como los que rellenan los valles de esta región (INEGI, 2011).

#### **4.1. Estratigrafía**

La secuencia estratigráfica que aflora en esta región está constituida por sedimentos cuya edad varía del Jurásico Inferior al Reciente. En el área de estudio afloran elementos del Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983), éstos son el subterreno Zihuatanejo (?) y una cuenca trasarco que posiblemente corresponda el subterreno Huetamo.

La unidad más antigua corresponde a cuarcitas y metasedimentos que aunque sus límites en esta zona son tectónicos tanto con rocas cretácicas y terciarias, en otras partes subyacen a la Formación Alberca (Berriasiano-Hauteriviano), lo que permite ubicarla como Jurásico superior (?). Se tienen afloramientos de un paquete de rocas andesíticas de textura afanítica, tobas y brechas, que pueden corresponder al macizo volcánico del arco de Zihuatanejo (?) al cual se le asigna edad de Aptiano-Albiano.

También una unidad constituida por brecha andesítica compuesta por fragmentos subangulosos a subredondeados de andesita cementados por una matriz areno- arcillosa, aunque su edad aún no es precisa, por composición se puede inferir que es derivada del macizo volcánico, por lo que se le asigna tentativamente una edad Aptiano, esta unidad es conocida como Brecha Jalisco.

Como cubierta de este macizo se tienen tres unidades que la Formación Tepalcatepec constituida por una secuencia vulcanosedimentaria de areniscas tobas andesíticas, conglomerados, lutitas y lodolitas calcáreas y lentes de caliza, cuya edad determinada por fósiles es de Aptiano-Cenomaniano, en cambio de facies lateral aflora la Formación Madrid constituida por calizas y lutitas de edad Aptiano superior-Albiano. Cubriendo indistintamente a estas unidades se tiene un paquete constituido por yesos en la base y calizas de plataforma hacia la cima de edad Albiano-Cenomaniano.

También se ha relacionado como cubierta del arco a la Formación Cerro de la Vieja constituida por un conglomerado con fragmentos subangulosos a semiredondeados de caliza y andesita, en una matriz

areno-arcillosa, y se le asigna una edad de Turoniano- Coniaciano, debido a que localmente se observa en concordancia estructural con las rocas subyacentes.

Correspondiente al Campaniano-Paleoceno se tiene una secuencia volcánica constituida por tobas de composición riolítica (KsTpaTR), que han sido datadas en la carta Puerto Vallarta y se han obtenido edades isotópicas que fluctúan entre 65 a 80 Ma.

Las secuencias volcánicas de la Sierra Madre Occidental están representadas por andesitas y tobas andesíticas de edad Eoceno (TeoA) y por tobas riolíticas (TomTR), domos riolíticos (TomR) y tobas riolíticas y riolitas (TomTR-R) de edad Oligoceno-Mioceno.

Representando al Cinturón Volcánico Transmexicano se tienen rocas basálticas de edad Plioceno (TpIB).

Las unidades más recientes están constituidas por un conglomerado polimíctico y areniscas del Pleistoceno (QptCgp-Ar) y por aluviones, suelos residuales, palustres, lacustre y arenas finas de playa del Holoceno (Qal).

Se determinaron tres fases de intrusión, la primera corresponde al emplazamiento de rocas granítico-granodioríticas con diferenciación hasta tonalitas que conforma el Batolito de Tomatlán con edades isotópicas entre 73 a 99 Ma para los granitos y de 93 +/- 78 Ma para las tonalitas que la ubican como del Cretácico superior y que afectan claramente a las unidades volcánicas y vulcanosedimentarias que conforman el arco Zihuatanejo (?), una intrusión diorítica-tonalítica con edades entre 54.9+/-2 a 66 .9+8 Ma que lo ubican en el Paleoceno y un último evento de composición monzonítica de posible edad Oligoceno.

## **4.2. Geología estructural**

Dentro de la provincia Sierra Madre del Sur las secuencias metamórficas del Jurásico, vulcanosedimentarias y sedimentarias del Cretácico fueron comprimidas por efecto de cuerpos graníticos, que las plegaron, fracturaron, afallaron, metamorfosearon y mineralizaron; dichos eventos se han relacionado a la subducción y fusión parcial asociados a uno o más límites convergentes de placas (Morán, 1994). Los cuerpos intrusivos provocaron en las rocas sedimentarias calcáreas, al igual que en las secuencias vulcanosedimentarias y metamórficas, la formación de bloques colgados de diversas dimensiones. Dichos cuerpos intrusivos se han denominado Conjunto Batolítico de Jalisco, cuyo ambiente geotectónico es de raíz de arco (Ortega, 1992); tiene una migración temporal del Cretácico al Terciario Inferior; y espacial de la región costera a las zonas internas continentales; los del Terciario Inferior se muestran en el noreste y centro del estado en forma de troncos y diques.





## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1. Tipo de acuífero**

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido horizontal como vertical, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales y eólicos de granulometría variada, areniscas y conglomerados, depositados tanto en los subálveos de las corrientes fluviales como en la planicie costera, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas ígneas entre las que destacan los granitos, tobas, brechas y rocas vulcanosedimentarias, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

### **5.2. Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se llevaron a cabo 4 pruebas de bombeo de corta duración, en etapa de abatimiento y recuperación. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Theis y Jacob-Cooper, tanto en etapa de abatimiento como recuperación.

De los resultados de su interpretación por los métodos analíticos mencionados, se establece que los valores de transmisividad varían de  $5.5$  a  $25 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , con un promedio de  **$15.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en las zonas donde la estratigrafía está compuesta de una combinación de sedimentos aluviales y formaciones fracturadas de rocas ígneas y de  $0.15$  a  $4.75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , con un promedio de  **$2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en los depósitos de sedimentos aluviales en la costa. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se obtuvieron valores del coeficiente de almacenamiento.

### **5.3. Piezometría**

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

### **5.4. Comportamiento hidráulico**

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

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 4, se observa que en el acuífero de Tomatlán, la profundidad media al nivel estático varía en un rango que va de los 3 a los 20 m. Lo anterior puede evidenciarse, principalmente, en las áreas correspondientes a las poblaciones de José María Morelos y Campo Acosta. La profundidad al nivel estático progresa gradualmente del noreste hacia el suroeste, hacia la costa, donde el acuífero se

asocia y define su límite con la interface del Océano Pacífico, constituyendo esta región la zona más baja del sistema.

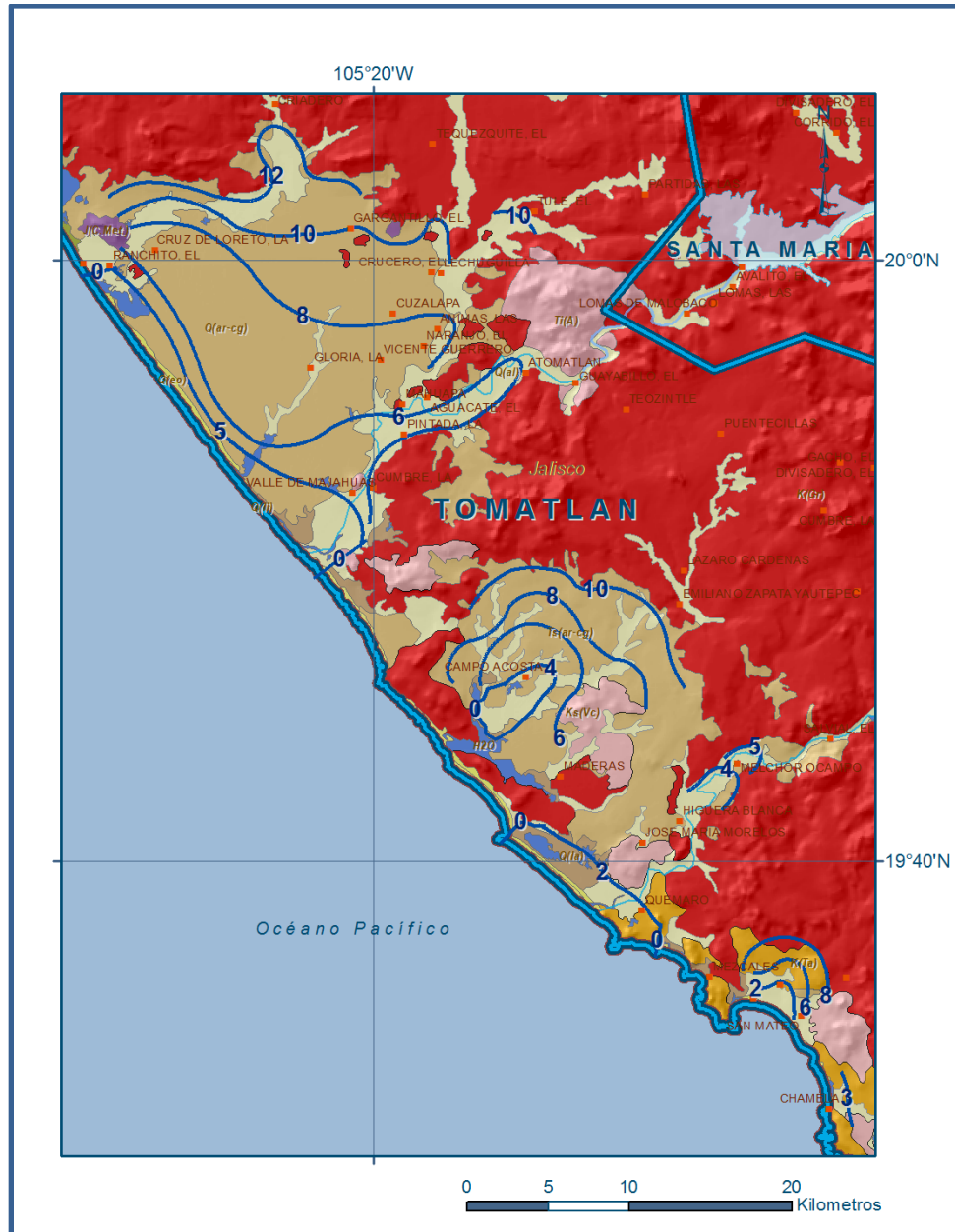


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 5, se observa que el sistema de flujo natural del acuífero tiene una dirección noreste-suroeste, con valores máximos de 300 msnm en las zonas topográficamente más altas, descendiendo gradualmente hasta 3 msnm en la línea de costa, mostrando de esta manera, al igual que en la

configuración de profundidad, el efecto de la topografía y evidenciando la dirección preferencial del flujo subterráneo.

En el sistema de flujo no se observan conos de abatimiento local en las regiones donde existen principales asentamientos humanos, tales como Tomatlán, José María Morelos, Campo Acosta o la Cruz Loreto, ya que no existe una gran concentración de pozos, favoreciendo que el frente salino se mantenga en condiciones naturales sin una clara tendencia hacia el continente.

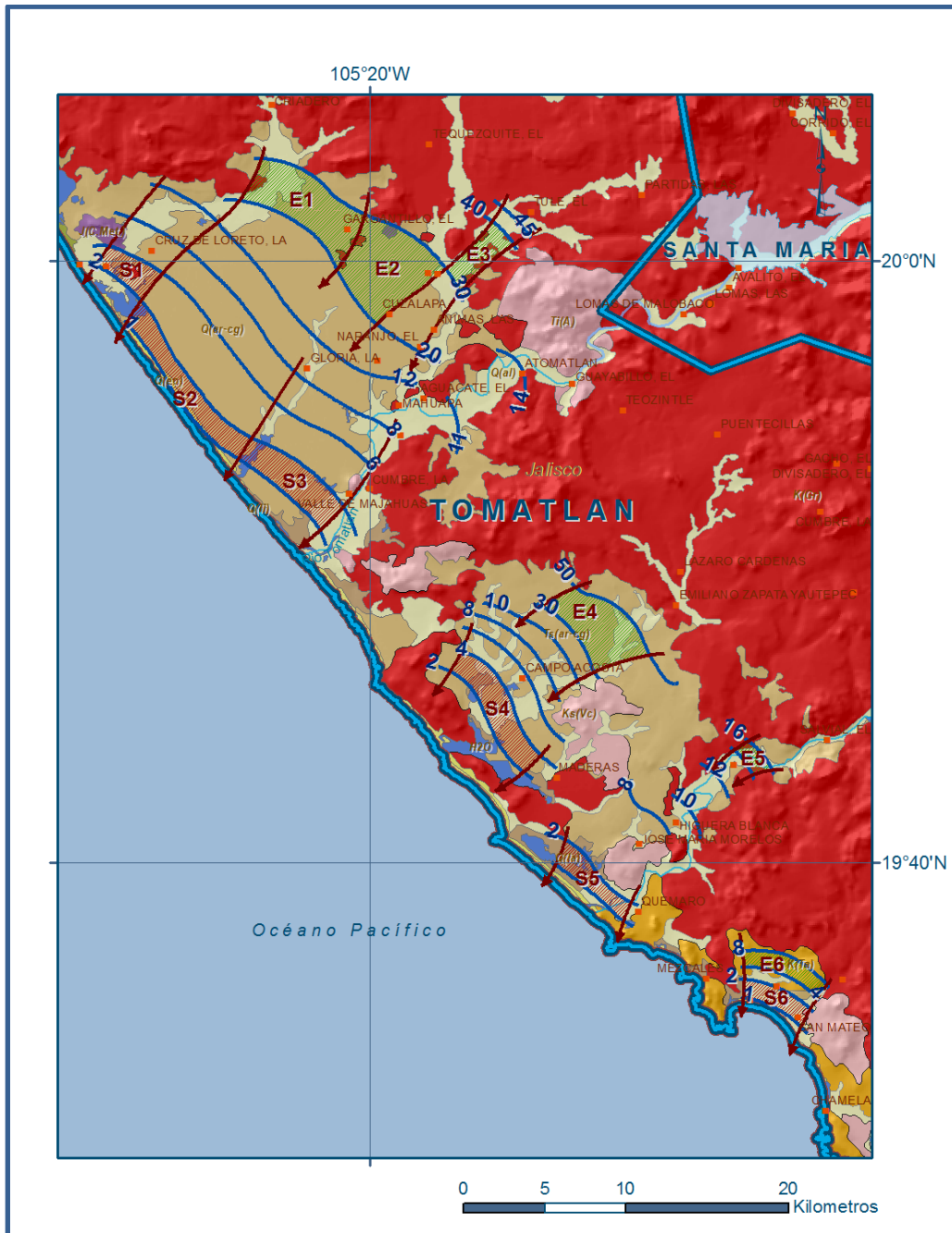


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

### **5.4.3. Evolución del nivel estático**

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Además, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Las mediciones realizadas en 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

### **5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 8 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Potencial de Hidrogeno (pH), Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y Sólidos Totales Disueltos (mg/l), para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. Con respecto a la conductividad eléctrica, esta presenta valores que varían de 109 a 1521  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores de temperatura varían de 21.1 a 32.1  $^{\circ}\text{C}$  y los de pH varían de 6.8 a 8.7. También se encontró la presencia de Boro ( $\text{B}^{3+}$ ) en la mitad de las muestras de agua, con valores que varían de 0.95 a 1.35 mg/L.

En la mayor parte del acuífero predominan las aguas suaves con dureza temporal y bajas concentraciones de calcio, magnesio y bicarbonatos. De acuerdo con los iones dominantes, el agua del 40% ( $n=3$ ) de los pozos se caracteriza como cálcica bicarbonatada ( $\text{Ca-HCO}_3$ ) y el 12% ( $n=1$ ) de tipo magnésica bicarbonatada ( $\text{Mg-HCO}_3$ ), que representa agua de reciente infiltración. En el grupo costero de pozos (40%,  $n=3$ ) la dureza temporal presenta una tendencia hacia una caracterización salina, clasificándose como moderadamente suave, del tipo clorurada bicarbonatada sulfatada ( $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4$ ), en la que la alta proporción iónica puede atribuirse a una litología feldespática, influenciada con procesos de disolución de yeso, que explican la presencia de sulfatos, estos se encuentran vinculados con un sistema de flujo profundo asociado a un flujo regional con tiempos de

residencia significativos, siendo típicos en los sistemas de flujo de aguas fósiles. El pozo costero 34 se distingue por su composición definitivamente salina, estando el agua clasificada como del tipo sódica clorurada sulfatada (Na-Cl-SO<sub>4</sub>).

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró un total de 121 aprovechamientos; del total de aprovechamientos, 105 se encuentran activos y 16 inactivos.

El volumen total de extracción es de **5.5 hm<sup>3</sup>/año**, de ese total, 3.6 hm<sup>3</sup>/año (65.5 %) es utilizado para uso agrícola, 1.6 hm<sup>3</sup>/año (29.1 %) es para uso público urbano y 0.3 hm<sup>3</sup>/año (5.5 %) restante en otros usos.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2010, en superficie de **202 km<sup>2</sup>** del acuífero que corresponde a las zonas donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localizan los aprovechamientos

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

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

### **7.1. Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (Rt) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv) y por flujo subterráneo horizontal (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en la red de distribución de agua potable, constituyen otra fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

#### **7.1.1. Recarga vertical (Rv)**

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:

$$Rv + Eh + Ri - B - Sh - Dm - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv= Recarga vertical;

Eh= Entradas por flujo subterráneo horizontal;

Ri= Recarga inducida;

B= Bombeo;

Sh= Salidas por flujo subterráneo horizontal;

ETR= Evapotranspiración;

Dm = Descarga de manantiales;

$\Delta V(S)$ =Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene lo siguiente:

$$Rv = B + Sh + Dm + ETR \pm \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

#### **7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)**

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tienen su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático para 2010 (figura 5). Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

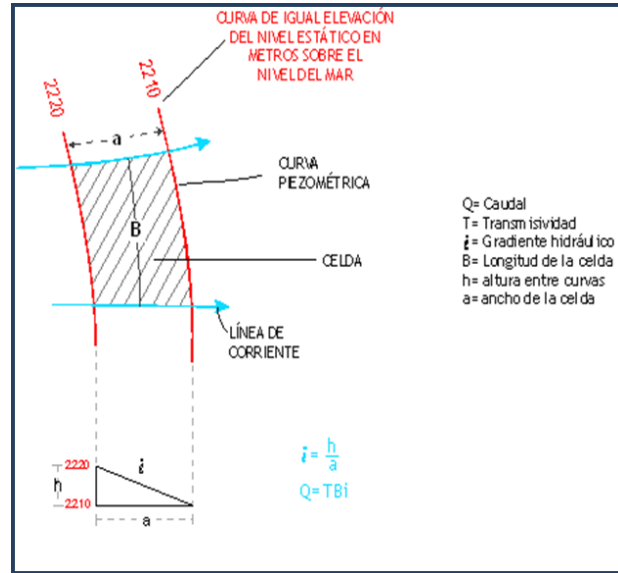
$$Q = B * i * T$$

Donde:

**B**= Largo del canal de flujo (m);

**i**= Gradiente hidráulico ( $i = h_2 - h_1 / a$ );

**T**= Transmisividad ( $m^2/s$ );



Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

La recarga total del flujo subterráneo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos, en la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **16.4 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo horizontal (2010)

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente i (m)	T ( $m^2/s$ )	CAUDAL Q ( $m^3/s$ )	VOLUMEN ( $hm^3/año$ )
E1	6830	3415	10	0.002928	0.0050	0.1000	3.2
E2	4440	4780	10	0.002092	0.0060	0.0557	1.8
E3	1710	4100	10	0.002439	0.0070	0.0292	0.9
E4	5120	3415	20	0.005857	0.0070	0.2099	6.6
E5	2390	1365	2	0.001465	0.0070	0.0245	0.8
E6	5120	1025	4	0.003902	0.0050	0.0999	3.2
<b>Total entradas:</b>							<b>16.4</b>

### 7.1.3. Recarga inducida (Ri)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Debido a la falta de información confiable de

láminas de riego por cultivo, por correlación con acuíferos vecinos, se consideró un 20% del volumen aplicado al uso agrícola que retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando la profundidad somera al nivel del agua subterránea mayor y la presencia de estratos de baja permeabilidad en el subsuelo.

El volumen extracción de agua subterránea para uso Agrícola es de  $3.6 \text{ hm}^3$  anuales, si consideramos que el 20% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero, obtenemos que el volumen de  $0.72 \text{ hm}^3/\text{año}$ . El rango de pérdidas por fugas en las redes de distribución para el caso del acuífero Tomatlán se consideró del 20 %, que aplicado al volumen del uso Público Urbano de  $1.6 \text{ hm}^3/\text{año}$ , se da un volumen de fugas en la red de distribución de  $0.32 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Por lo tanto, el volumen total por recarga inducida asciende a  **$1.0 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

## 7.2. Salidas

Las descargas del acuífero ocurren principalmente por las salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), las descargas de manantiales (Dm), evapotranspiración (ETR) y bombeo (B). No existen descargas por evapotranspiración ni aportes del acuífero al flujo base de los ríos.

### 7.2.1. Salida por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 4, tal como se muestra en la tabla 3. El volumen total de salidas por flujo horizontal subterráneo asciende a  **$1.2 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

Tabla 3. Cálculo de salidas horizontales

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	2730	1710	4	0.002339	0.0005	0.0032	0.1
S2	10585	1365	1	0.000733	0.001	0.0078	0.2
S3	7170	2050	1	0.000488	0.001	0.0035	0.1
S4	7510	1025	2	0.001951	0.001	0.0147	0.5
S5	5120	1025	1	0.000976	0.001	0.0050	0.2
S6	3415	680	1	0.001471	0.001	0.0050	0.2
Total entradas:							1.2

### 7.2.2. Evapotranspiración (ETR)

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

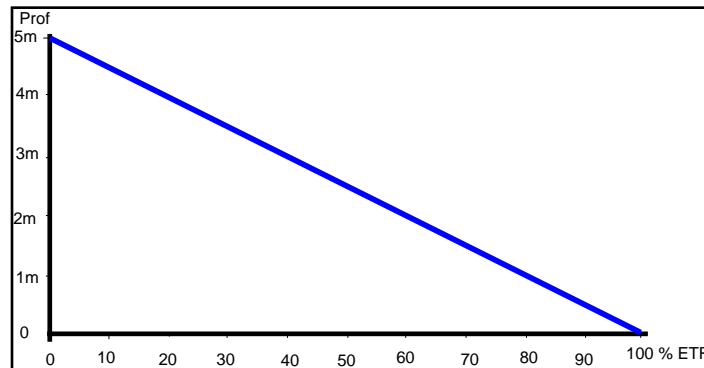


sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración. Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	24.9		
P(mm) =	1286	P <sup>2</sup> =	1653796
L =	1694.41245	L <sup>2</sup> =	2871033.55
ETR (mm)	1058.5		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso: en zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 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 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el porcentaje que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior. Tomando en cuenta una superficie de 80 km<sup>2</sup> en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 3 m y una lámina de evapotranspiración obtenida de 1058.5 mm, se tiene que la ETR = 80 km<sup>2</sup> (1.0585 m) (0.4) = 33.9. Por lo tanto; **ETR = 33.9 hm<sup>3</sup>/año.**

### **7.2.3. Descarga de manantiales (Dm)**

Puesto que no se dispone de un registro histórico de niveles ni de los aforos en los manantiales del acuífero, un cálculo aproximado de esta componente con base en los caudales estimados durante las visitas de campo es de **10.6 hm<sup>3</sup>/año**.

### **7.2.4. Bombeo (B)**

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **5.5 hm<sup>3</sup> anuales**.

### **7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$**

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes recabados en recorridos de campo se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir,  **$\Delta V(S) = 0$** .

#### **Solución a la ecuación de balance**

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión 2, que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + Dm + ETR \pm \Delta V(S) - E_h - R_i & (2) \\ R_v &= 5.5 + 1.2 + 10.6 + 33.9 + 0.0 - 16.4 - 1.0 \\ R_v &= 33.8 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R_t &= R_v + E_h + R_i \\ R_t &= 33.8 + 16.4 + 1.0 \\ R_t &= 51.2 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

## **8. DISPONIBILIDAD**

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la metodología para calcular 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 siguiente expresión:

$$\text{DAS} = \text{Rt} - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

Donde:

DAS = Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica;

Rt = Recarga total media anual;

DNCOM = Descarga natural comprometida;

VCAS = Volumen de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA;

### **8.1. Recarga total media anual (Rt)**

La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como de recarga inducida. Para el caso del acuífero Tomatlán su valor es de **51.2 hm<sup>3</sup>/año**.

### **8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)**

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso particular, se considera como descarga natural comprometida un volumen de **28.8 hm<sup>3</sup> anuales**, que corresponde a la descarga de los manantiales, a las salidas subterráneas hacia el mar para mantener la posición de la interface marina y al 50 % de la evapotranspiración, que se debe comprometer para preservar el ecosistema costero.

### **8.3. Volumen concesionado de agua subterránea (VCAS)**

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte **al 31 de marzo de 2011 es de 12'740,144 hm<sup>3</sup>/año**.

#### **8.4. Disponibilidad de aguas subterráneas (DAS)**

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, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA.

$$\text{DAS} = R_t - \text{DNCOM} - \text{VCAS} \quad (3)$$

$$\text{DAS} = 51.2 - 28.8 - 12.740144$$

$$\text{DAS} = 9.659856 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible de **9'659,856 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

#### **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para Determinar la Disponibilidad de los Acuíferos Valle de Guadalupe, Primo de Verdad, La Huerta, Miguel Hidalgo, Cihuatlán, 20 de Noviembre, Cuquío, Colotlán, Tecolotlán, Tomatlán, Tequila y La Barca, en el estado de Jalisco, elaborado por la Universidad Nacional Autónoma de México mediante convenio con el organismo de cuenca Lerma-Santiago-Pacífico.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Carta Geológico-Minera E13-B11 "Zapotán" Jalisco, escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológico-Minera E13-2-5 "Manzanillo" Colima y Jalisco, escala 1:250,000.