

***Actualización de la disponibilidad media anual  
de agua en el acuífero Jalipa-Tapeixtles  
(0608), Estado de Colima***

*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.**

CDXXXII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES							
<b>ESTADO DE COLIMA</b>							
0608	JALIPA-TAPEIXTLES	10.8	3.0	8.962770	6.4	0.000000	-1.162770

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 JALIPA-TAPEIXTLES (0608),  
ESTADO DE COLIMA***

**México, D.F., Junio de 2014**

## CONTENIDO

1.	GENERALIDADES .....	3
	Antecedentes .....	3
1.1	Localización .....	3
1.2	Situación administrativa del acuífero .....	5
2.	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....	5
3.	FISIOGRAFÍA .....	7
3.1	Provincia fisiográfica .....	7
3.2	Clima .....	8
3.3	Hidrografía .....	8
3.4	Geomorfología .....	9
4.	GEOLOGÍA .....	10
4.1	Estratigrafía .....	10
4.2	Geología estructural .....	14
4.3	Geología del subsuelo .....	15
5.	HIDROGEOLOGÍA .....	15
5.1	Tipo de acuífero .....	15
5.2	Parámetros hidráulicos .....	15
5.3	Piezometría .....	16
5.4	Comportamiento hidráulico .....	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático .....	16
5.4.2	Elevación del nivel estático .....	17
5.4.3	Evolución del nivel estático .....	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	18
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....	20
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	20
7.1	Entradas .....	20
7.1.1.	Recarga vertical (Rv) .....	21
7.1.2.	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	21
7.2.	Salidas .....	22
7.2.1.	Bombeo (B) .....	22
7.2.2.	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) .....	22
7.2.3.	Evapotranspiración (ETR) .....	23
7.3.	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	24
8.	DISPONIBILIDAD .....	25
8.1.	Recarga total media anual (Rt) .....	25
8.2.	Descarga natural comprometida (DNCOM) .....	26
8.3.	Volumen concesionado de aguas subterráneas .....	26
8.4.	Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DAS) .....	26
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	27

## **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 apegándose a los lineamientos establecidos en 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, 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 (REPGA).

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 Jalipa-Tapeixtles, definido con la clave 0608 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción occidental del Estado de Colima, entre los paralelos 19° 01' y 19° 09' de latitud norte y entre los meridianos 104° 12' y 104° 21' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 60 km<sup>2</sup>.

Limita al norte y oeste con el acuífero Santiago-Salagua, al sur y este con el acuífero El Colomo, pertenecientes al Estado de Colima; y al suroeste su límite natural es el Océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente, se encuentra localizado totalmente dentro del municipio de Manzanillo.

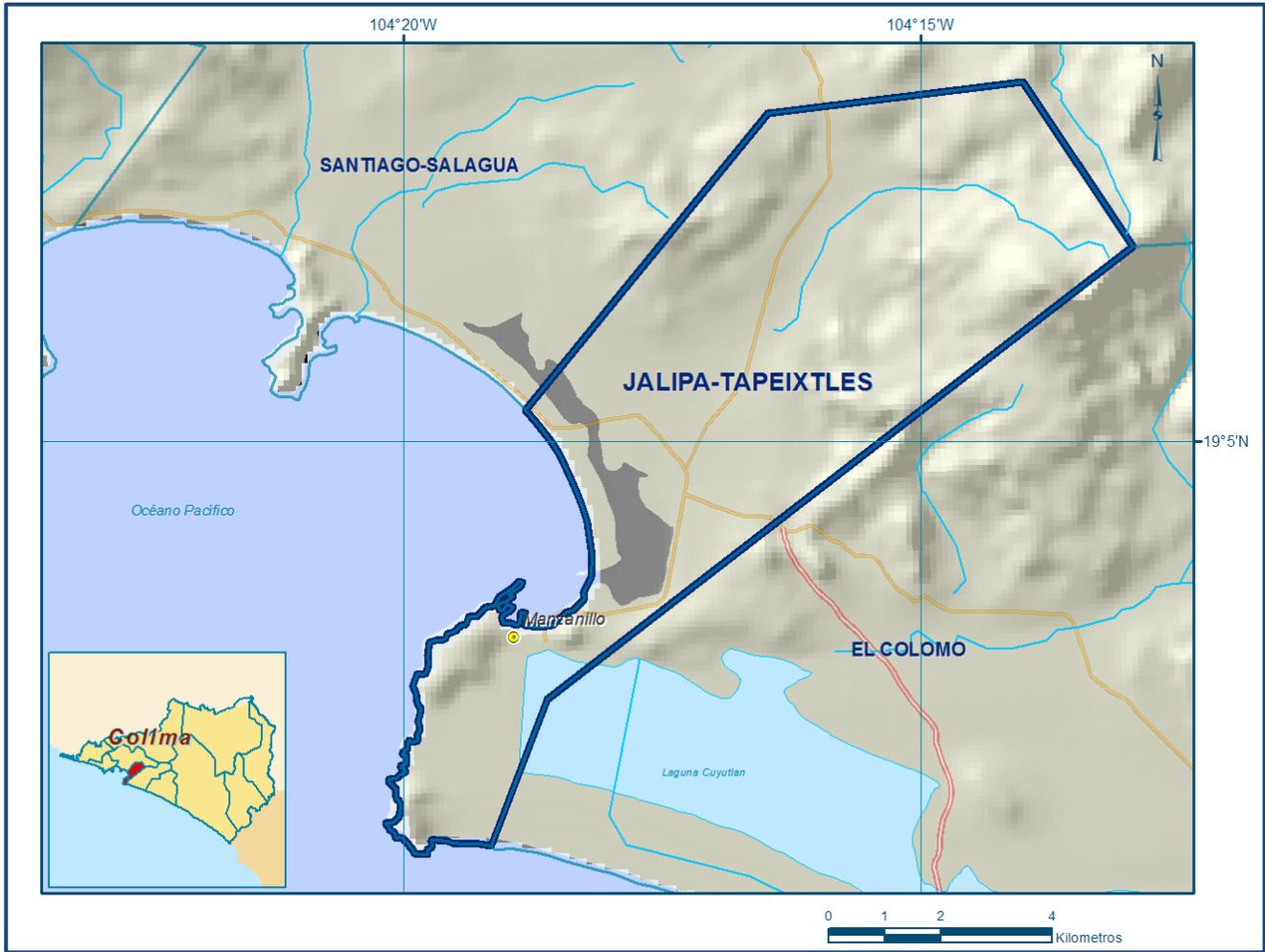


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita El acuífero

**ACUIFERO 0608 JALIPA-TAPEIXTLES**

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	104	16	28.7	19	8	10.5	
2	104	14	0.7	19	8	28.8	
3	104	12	56.7	19	6	53.2	
4	104	18	37.1	19	2	30.1	
5	104	19	9.6	19	1	4.9	DEL 5 AL 6 POR LA LÍNEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
6	104	18	49.7	19	5	17.9	
1	104	16	28.7	19	8	10.5	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Jalipa-Tapeixtles pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Colima. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones del “*Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona costera del Estado de Colima, controlándose las extracciones, uso o aprovechamiento de aguas del subsuelo de dicha zona*” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 20 de Agosto de 1973. Esta veda es de tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (2014), el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el público-urbano. En su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Dentro de la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS VALLES COSTEROS EN LOS ALREDEDORES DE MANZANILLO, COL., elaborado por HIDROTEC, S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), en 1974.** Los objetivos del estudio fueron determinar el balance de agua subterránea en cinco valles que conformaron la zona de estudio, determinar la posible existencia de intrusión marina; así como establecer las recomendaciones más adecuadas para su explotación y para la vigilancia del avance de los frentes de intrusión. Incluye los acuíferos Santiago-Salagua, Jalipa-Tapeixtles, El Colomo, Venustiano Carranza y Armería-Tecomán-Periquillos. Se realizaron las siguientes actividades: censo, piezometría, nivelación piezométrica, hidrometría, fotogeología, recorridos de campo, pruebas de bombeo, sondeos eléctricos verticales, muestreo de aguas para análisis fisicoquímico. Para el caso del acuífero Jalipa-Tapeixtles realiza censo e hidrometría de las extracciones, reporta la existencia de 21 pozos con profundidades totales entre 52 y 155 m, así como 5 norias con una profundidad media de 10 m. La extracción era de 12.2 hm<sup>3</sup> anuales. Estima un almacenamiento muy escaso, apenas de 1.0 hm<sup>3</sup> anuales de agua dulce. La calidad del agua se reporta dentro de los límites para su uso potable. Identifica una dirección preferencial del flujo subterráneo de noreste a suroeste, paralela al escurrimiento superficial.

**INFORME DE TERMINACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LOS VALLES TECOMÁN-MANZANILLO EN EL ESTADO DE COLIMA, elaborado por HIDROTEC, S.A. para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), en 1974.** La piezometría muestra que la profundidad al

nivel estático variaba de 4 a 42 m, aumentando de la costa hacia el noreste, con elevaciones sobre el nivel medio del mar desde algunos centímetros en la zona costera, hasta 12 msnm. Mediante la realización e interpretación de pruebas de bombeo estima valores de transmisividad de  $30$  a  $34 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, con un valor promedio de permeabilidad de  $1.3 \times 10^{-3}$  m/s; mientras que el rendimiento específico asignado fue de 0.15. Plantea el balance de aguas subterráneas y determina un cambio de almacenamiento de  $-2.0$  hm<sup>3</sup>; concluye que el acuífero está sobreexplotado.

**AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS VALLES COSTEROS CERCANOS A MANZANILLO, EN EL ESTADO DE COLIMA, realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., en 1975.** Los objetivos del estudio fueron determinar las características geométricas de las cuencas tanto en el sentido vertical como horizontal; definir el funcionamiento hidráulico con base en las características piezométricas e hidrométricas; proponer alternativas de explotación de acuerdo a las necesidades y almacenamiento subterráneo así como el establecimiento de un modelo inicial de funcionamiento con base en la calidad e información hidrogeológica recopilada. Incluye los Valles de Jalipa-Tapeixtles, Santiago-Salagua y Venustiano Carranza. Para el primero de ellos, entre sus actividades principales destaca el censo de 34 aprovechamientos hidráulicos, de los cuales 25 son pozos y 9 norias, con un volumen medio anual de extracción de 8.6 hm<sup>3</sup>. La calidad de agua en el valle indicó que era apta para casi cualquier tipo de cultivo en la parte alta, mientras que en la parte baja del acuífero se manifestó un aumento de salinidad. Los valores de transmisibilidad varían entre 10.0 y  $79.0 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, en tanto que la conductividad hidráulica registró valores entre 0.4 y  $1.5 \times 10^{-3}$  m/s. Calcula un abatimiento promedio de 0.6 m anuales.

**DETERMINAR EL POTENCIAL HIDRÁULICO DE LOS VALLES ALEDAÑOS A LA BAHIA DE MANZANILLO Y DEFINIR LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE BUENA CALIDAD A FUTURO INMEDIATO, realizado por PROYESCO, S.A., para la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, en 1978.** El trabajo tiene como objetivo la evaluación del potencial hidráulico y definición de fuentes de abastecimiento de buena calidad para el desarrollo turístico y económico de los valles costeros La Central, Santiago-Salagua, Jalipa-Tapeixtles y El Colomo. Incluye censo de aprovechamientos, hidrometría de las extracciones, análisis fisicoquímico de las muestras de agua subterránea, ejecución de 15 pruebas de bombeo y 15 sondeos eléctricos verticales. Con esta información se definió la geometría de los acuíferos y determinó su potencial. El análisis de evolución del nivel estático considera el periodo 1973-1978. Para el caso del valle Jalipa-Tapeixtles, en 1978 las profundidades de los niveles estáticos variaban de 8 a 45 m. Respecto a los espesores de unidades litológicas se reportaron variaciones entre 20 y 100 m, correspondientes a depósitos sedimentarios recientes. La actualización del censo de aprovechamientos reportó la existencia de 34 pozos y 10 norias, que en conjunto extraían un volumen estimado de 15.0 hm<sup>3</sup> anuales.

**ACTUALIZACIÓN DE LAS CONDICIONES PIEZOMÉTRICAS DE LOS VALLES COSTEROS DEL ESTADO DE COLIMA, realizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH),**

**en 1987.** Establece que el Valle Jalipa-Tapeixtles está constituido por depósitos aluviales formados por una mezcla de gravas y arenas, cuyo espesor varía de 35 a 120 m. La recarga al acuífero se consideró proveniente de la infiltración en el valle, de los escurrimientos serranos y la precipitación pluvial, mientras que la descarga se lleva a cabo mediante el bombeo y de manera natural y subterránea hacia el mar. Actualiza las mediciones piezométricas.

**SINOPSIS GEOHIDROLÓGICA DEL ESTADO DE COLIMA, elaborada por Comisión Nacional del Agua en 1990.** Este documento considera, para el acuífero Jalipa-Tapeixtles, la descripción del marco físico, su población, extensión territorial, clima, fisiografía y geología. En el informe se tratan las componentes del ciclo hidrológico y se plantea el balance hidrometeorológico, asimismo, se describen los aspectos relativos a los acuíferos y se conjuga la información de aguas superficiales y subterráneas. Se concluye que en el acuífero Jalipa-Tapeixtles existe una sobreexplotación incipiente, recomienda reducir la extracción para disminuir la sobreexplotación y el riesgo de intrusión salina.

**EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA DETERMINAR LA POSICIÓN DE LA INTERFASE SALINA EN LA ZONA COSTERA DEL ACUÍFERO JALIPA-TAPEIXTLES, EN EL ESTADO DE COLIMA, elaborado por el Servicio Geológico Mexicano, en 2013, para Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Colima.** El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, revisar el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible actualizar el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. Adicionalmente, se llevaron a cabo sondeos eléctricos verticales, perfiles de conductividad eléctrica y muestreo de agua subterránea para análisis fisicoquímico, cuya información sirvió para caracterizar la posición actual y el avance de intrusión salina

Este trabajo constituye la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero Jalipa-Tapeixtles se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, en el límite con el Eje Neovolcánico, en la Subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima que se caracteriza por tener un relieve que incluye sierras, valles y llanuras costeras. A su vez está formada

por una serie de topoformas, entre las que destacan: i) Sierras, ii) Llanura con Lagunas Costeras, iii) Llanuras con Deltas, iv) Valle y v) Valle con Lomeríos.

En el caso de las sierras, conforman la mayor parte del acuífero, desde la porción sureste de la zona urbana de Manzanillo, con elevaciones máximas de 120 msnm, hasta 900 msnm en la región oriental, orientadas preferentemente en dirección norte-sur. Los valles rellenan pequeñas fosas sepultadas, con elevaciones de 20 msnm en la zona costera, hasta 50 msnm en el extremo norte, al noreste de la comunidad de Jalipa. La forma del valle está controlada principalmente por la distribución de la unidad geológica de composición granítica, así como por una serie de brechas volcánicas ubicadas al sur y suroeste del acuífero.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en la superficie que cubre el acuífero predomina el clima cálido subhúmedo  $Aw_0(w)$ , con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 2 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero: Manzanillo y Punta de Agua, la primera ubicada en la zona costera y la segunda en la zona serrana, al noroeste del acuífero; cuyo registro comprende un promedio de 35 años (1975-2010). Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **937.3 mm/año** y **26.5°C** respectivamente.

En términos generales el régimen pluvial se presenta de junio a octubre, cuando se registran los valores más altos de precipitación. También se registra un régimen de lluvias invernales, de noviembre a febrero, con precipitaciones menos significativas.

### **3.3 Hidrografía**

El área que cubre el acuífero se encuentra ubicada en la Región Hidrológica RH 15 “Costa de Jalisco”, dentro de la cuenca Río Chacala-Purificación, subcuenca Laguna de Cuyutlán. La Región Hidrológica tiene una extensión territorial de 12,967  $km^2$ , limita al norte con la Región Hidrológica No.13, “Río Huicicila”, mientras que al oriente limita con las Regiones Hidrológicas No. 14, “Río Ameca” y No.16, “Armería-Coahuayana”.

La principal corriente superficial dentro del acuífero es el arroyo Rancho Viejo, el cual nace en la parte noreste del acuífero, en la Sierra Perote, pasando al poniente del poblado Jalipa, posteriormente cruza el valle en dirección noreste-suroeste y desemboca al Océano Pacífico, en la Bahía de Manzanillo.

Existen también arroyos de menor caudal que nacen en las partes altas de la sierra, como el arroyo Seco, además de corrientes que desaparecen. En la zona costera existe una serie de cuerpos lagunares, destacando en el extremo sur parte de la Laguna de Cuyutlán, compartida con el Acuífero El Colomo, así como las lagunas San Pedrito y Tapeixtles, mientras que en la zona suroeste del acuífero se localiza la Laguna Las Garzas, que es compartida con el vecino acuífero Santiago-Salagua.

### **3.4 Geomorfología**

La conformación del relieve es el resultado de la acción conjunta de los procesos endógenos y exógenos. Los primeros son de tipo magmático y tectónico y se manifiestan en los Cerros El Centinela, Naranja, Cimborro, La Ocotea y El Campanario. El relieve exógeno se presenta en las formas denudatorias de tipo fluvial, planicies aluviales y deltáicas, fluvio-denudatorias, eólicas y orgánicas. El área presenta dos periodos de erosión fluvial que corresponden al ciclo geomorfológico de las etapas juvenil y de madurez avanzada (Carta Geológico-Minera Manzanillo E13-B43. Escala 1:50,000. SGM, 1996).

Las condiciones morfológicas a nivel regional están expuestas en la Sierra Madre del Sur, la cual se extiende a lo largo de una franja de orientación general noroeste-sureste en forma paralela a las estructuras geológicas, principalmente fallas de tipo normal, asociadas a una serie de cañadas que evidencian un drenaje principal con orientación preferente noreste-suroeste, es decir, perpendicular al eje principal de la sierra.

Los principales rasgos morfológicos de la zona son producto de diversos eventos geológicos, tal es el caso de las deformaciones que generó la Orogenia Laramide, causando también la elevación de grandes cuerpos graníticos, que bordean prácticamente toda la zona de valle del acuífero, con formas irregulares, así como estructuras dómicas semicirculares con elevaciones hasta de 820 msnm. Este tipo de cuerpos graníticos genera una geomorfología asociada a topofomas disectadas por una serie de barrancas con pendientes abruptas, como se observa al norte y noreste del acuífero, en los alrededores de la comunidad Francisco Villa, así como al oriente de Jalipa.

Destaca la presencia de una serie de estructuras geológicas regionales, principalmente fallas normales con orientación preferente noreste-suroeste, así como norte-sur, generadas por un periodo distensivo en el Terciario, dando origen una serie de fosas tectónicas como la que se encuentra en la zona de valle del acuífero, rellena por depósitos sedimentarios recientes. Por otra parte, el dominio de planicies costeras y rellenos sedimentarios de pendientes suaves, indica procesos avanzados de intemperismo, erosión y depósito.

## **4. GEOLOGÍA**

A nivel regional, en el área de estudio afloran elementos del Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983), cuya la base de la columna geológica corresponde a rocas metamórficas de probable edad Paleozoico Superior y cuarcitas y metasedimentos de edad Jurásico Superior. Se presentan afloramientos de andesitas de textura afanítica, tobas y brechas que corresponden al macizo volcánico del arco de Zihuatanejo, de edad Aptiano-Albiano, así como una unidad constituida por brechas andesíticas, de edad Aptiano, conocida como Brecha Jalisco. Sobre a las unidades anteriores se encuentran varios conjuntos litológicos, como la Formación Tepalcatepec, constituida por una secuencia vulcanosedimentaria de edad Aptiano-Cenomaniano, así como la Formación Madrid, formada por calizas y lutitas de edad Aptiano Superior–Albiano. Cubriendo indistintamente a estas unidades existe un paquete constituido por yesos en la base y calizas de plataforma hacia la cima, de edad Albiano-Cenomaniano. De igual manera, se considera a la Formación Cerro de La Vieja como una cubierta de arco constituida por un conglomerado de calizas y andesitas, cuya edad se le asigna al Turoniano-Coniaciano, en concordancia estructural con las rocas subyacentes.

Las secuencias volcánicas de la Sierra Madre Occidental están representadas por andesitas y tobas andesíticas de edad Eoceno, así como por tobas riolíticas, domos riolíticos, tobas riolíticas y riolitas de edad Oligoceno-Mioceno. Representando el Cinturón Volcánico Transmexicano se tienen basaltos de edad Plioceno. Las unidades más recientes están constituidas por un conglomerado polimíctico y areniscas del Pleistoceno, así como por aluvión, suelos residuales, palustres, lacustres y arenas finas de playa del Holoceno (Carta Geológico-Minera Manzanillo E-13-2-5. Escala 1:250000. SGM, 2000).

### **4.1 Estratigrafía**

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero comprende rocas sedimentarias, volcánicas, vulcanosedimentarias e intrusivas, cuyas edades varían del Cretácico Inferior al Reciente. A continuación se describen las unidades geológicas de la más antigua a la más reciente, cuya distribución geográfica se observa en la figura 2:

#### **CRETÁCICO INFERIOR**

##### **Formación Tecalitlán**

Secuencia constituida por derrames porfídicos de composición riolítica a dacítica, con intercalaciones de tobas, de estructura compacta y color rojizo a café pardo; incluye una sucesión piroclástica (brechas, aglomerados e ignimbritas), cuya composición principal varía de andesitas a riolitas. Su espesor es variable, los reportes de PEMEX indican 177, 420 y 2,300 m, en los pozos Colima-1, Jalisco-1 y Tonaya-1, respectivamente.

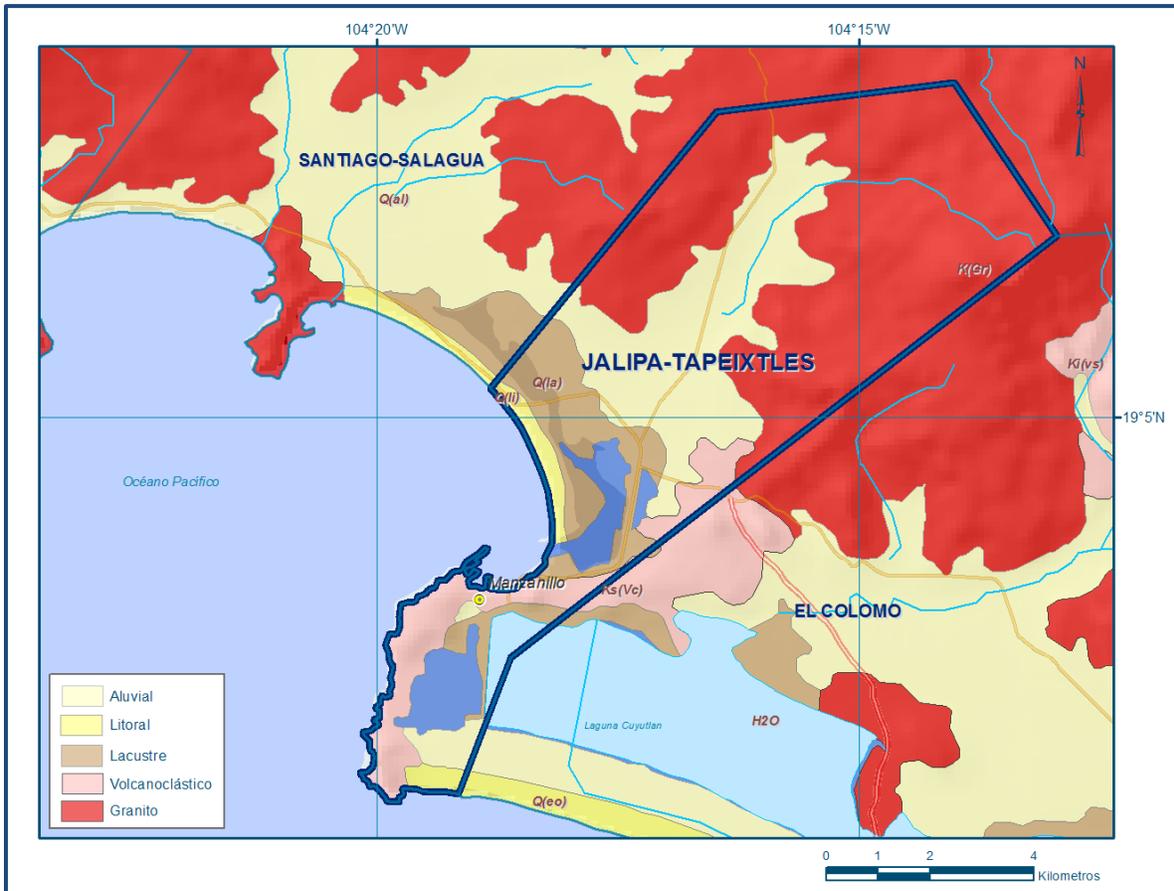


Figura 2. Geología general del acuífero

### Formación Morelos

Con este nombre Fries (1960) define una secuencia de calizas y dolomías de edad Albiano-Cenomaniano, que aflora principalmente en los estados de Morelos, Guerrero y México, de color gris cremoso a negro, de textura que cambia de calcilutita a calcarenita, con presencia de nódulos de pedernal muy esporádicos y horizontes de caliza dolomítica. Está constituida por una caliza que varía en color de gris claro a negro, con una textura de calcilutita a calcarenita, de espesor mediano a grueso. Sus afloramientos se encuentran en el extremo noreste del acuífero y han sido correlacionados con esta formación (PEMEX, 1980), constituyendo un casquete aislado en forma de ventana tectónica ubicada en dirección este y noreste del Cerro Prieto. Pantoja y Fries 1959, por la presencia de *Toucacia* y *Actoeonella*, le estiman una edad Albiano Superior-Cenomaniano Inferior.

Como cubierta del macizo rocoso del arco de Zihuatanejo se presentan las siguientes tres unidades:

### Formación Tepalcatepec

Unidad constituida por una secuencia vulcanosedimentaria de areniscas, tobas andesíticas, conglomerados, lutitas y lodolitas calcáreas y lentes de caliza, cuya edad determinada por su contenido fosilífero es Aptiano-Cenomaniano.

### **Formación Madrid**

Se considera un cambio de facies lateral de la formación anterior, está 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.

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **Formación Cerro de La Vieja**

Constituida por un conglomerado de fragmentos subangulosos a semirredondeados de calizas y andesitas, en una matriz areno-arcillosa, cuya edad asignada corresponde al Turoniano-Coniaciano, debido a que localmente se observa en concordancia estructural con las rocas subyacentes.

### **Rocas vulcanoclásticas.**

Están constituidas por tobas andesíticas a intermedias, intercaladas con ignimbritas, brechas ácidas, derrames andesíticos, dacíticos y latíticos, que se caracterizan por presentar gradación, estructura lenticular y capas bien definidas con espesor de 0.1 a 0.6 m. Fueron depositadas en un medio ambiente somero, atribuido al desarrollo de un arco volcánico insular a partir del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, cuya declinación ocurrió en el Cretácico Superior (Ferrusquía 1978; Campa 1979). Sobreyacen discordantemente a depósitos calcáreos marinos de la Formación Morelos.

### **Batolito de Manzanillo**

Cuerpo intrusivo de dimensiones batolíticas, de composición granodiorítica cuya edad se asigna al Cretácico Superior (Grajales, et al., 1993), el cual durante un evento posterior fue intrusionado por un cuerpo granítico de la misma edad que afectó a las rocas metamórficas del Paleozoico Superior y a unidades del Cretácico. Contemporáneamente y como un segundo evento del Cretácico Superior, surgió un cuerpo intrusivo de composición tonalítica que intrusionó a las rocas metamórficas, cretácicas y a la misma masa granodiorítica. A partir de los análisis de los elementos traza, es posible establecer que este batolito tiene una afinidad tectónica correspondiente a los granitos desarrollados en un arco volcánico, de tal manera que representa las raíces de un arco volcánico Cretácico. Aflora en gran parte del acuífero, principalmente bordeando pequeñas zonas de valle, así como parte de la planicie costera, cubierto por las rocas andesíticas de edad Cretácico. Por su estructura compacta constituye barreras naturales y basamento hidrogeológico del acuífero.

## **TERCIARIO**

### **PALEÓGENO**

#### **Diorita**

Roca volcánica constituida por minerales de cuarzo, oligoclasa, andesina, hornblenda, augita y sericita; presenta un color blanco grisáceo con tonalidades verdosas, estructura compacta a fracturada y textura fanerítica de grano medio a grueso. Presenta alteraciones hidrotermales como silicificación, piritización, alteración potásica, epidotización y oxidación moderada. Intrusiona a su vez a la unidad

granito-granodiorita, así como a la secuencia vulcanosedimentaria. Por su posición estratigráfica se le considera de edad Paleógeno.

### **Terciario Volcánico Andesitas y Riolitas**

Constituido por andesitas y riolitas que afloran en la porción sur. Son rocas compactas e impermeables, por lo que constituyen fronteras al flujo de agua subterránea. Durante el Terciario existió una intensa actividad volcánica en esta zona que produjo depósitos de materiales piroclásticos, constituidos por tobas, brechas, andesitas, riolitas y diabasas en forma no diferenciada. La parte superior del Terciario se caracterizó por el depósito de materiales ígneos extrusivos y piroclásticos en forma de dacitas y tobas dacíticas.

### **Rocas intrusivas**

Representadas por rocas de composición monzonítica y diorítica, originadas durante el evento magmático del Paleógeno; afloran en forma de troncos y diques que intrusionan a rocas metamórficas, a la secuencia cretácica y a las rocas volcánicas del Paleógeno hasta la traquita. Durante el mismo evento la monzonita intrusionó a la masa granítica, y la diorita a la granodiorita, granito y tonalita.

## **CUATERNARIO**

### **Conglomerados**

Están representados por un conglomerado oligomíctico constituido por fragmentos subredondeados de roca homogénea de 1 a 5 cm de diámetro; y un conglomerado polimíctico constituido por fragmentos subredondeados y mal clasificados de rocas sedimentarias calcáreas, metamórficas, volcánicas e intrusivas, semiconsolidados, de textura clástica en fragmentos de 5 a 20 mm de diámetro. Ambos de edad Pleistoceno.

### **Depósitos aluviales recientes**

La unidad se distribuye en la zona de valle, así como en la planicie costera. Corresponde a depósitos clásticos continentales sin consolidar, constituidos por fragmentos de granulometría variable, desde arcillas a cantos rodados, subredondeados a subangulosos, de rocas ígneas intrusivas, extrusivas, sedimentarias, calcáreas y metamórficas, que en ocasiones presentan estratificación normal y cruzada. En la parte baja del valle se presentan depósitos litorales y lacustres, éstos últimos disminuyen la permeabilidad y forman lentes semiconfinantes. En esta misma unidad se incluyen a los depósitos de gravas, arenas, limos, arcillas y material orgánico sin consolidar y de diferente granulometría, que forman los suelos residuales, palustres, lacustres, eólicos y litorales.

## **4.2 Geología estructural**

En la zona que cubre el acuífero y sus alrededores se ha identificado la presencia de al menos tres etapas de intrusión; la primera corresponde al emplazamiento de rocas granítico-granodioríticas con diferenciación hasta tonalitas, que conforman el Batolito de Manzanillo, con edades isotópicas entre 73 a 93 m.a. para los granitos y de aproximadamente 93 m.a. para las tonalitas, que las ubica en el Cretácico Superior, afectando a las unidades volcánicas y vulcanosedimentarias que conforman al Arco Zihuatanejo. Una segunda intrusión diorítica-tonalítica con edades entre 54 a 66 m.a. se ubica en el Paleoceno, mientras que el último evento es de composición monzonítica, de posible edad Oligoceno. La deformación frágil está representada por un sistema de fallas laterales sinclinales y dextrales, la mayoría de las cuales han sido reactivadas como normales conservando aún una componente lateral, ocasionalmente forman pilares y fosas como los grabens Autlán-El Grullo y Minatitlán. Este sistema presenta dos direcciones, la principal NE-SE y la secundaria NE-SW, en menor frecuencia también se observan estructuras menores con orientación E-W y N-S que afectan indistintamente a rocas intrusivas y a rocas vulcanosedimentarias. La deformación compresiva está representada por pliegues anticlinales y sinclinales que se observan sólo en las rocas vulcanosedimentarias de la cubierta cretácica (anticlinales Amacuatitlán y Toxin); en las rocas del macizo volcánico no es muy clara esta deformación (Carta Geológico-Minera Manzanillo E-13-2-5. Escala 1:250000. SGM, 2000).

La región donde se localiza el acuífero tiene complejidad geológica debido a la presencia de varios eventos geológico-estructurales relacionados principalmente por la subducción de las placas Cocos y Rivera, así como por la cercanía con los límites de diferentes bloques estructurales. Se reconocen en la región por lo menos dos eventos tectónicos compresivos, uno ocurrido durante el Jurásico Superior, al cual se suma otro en el período Cretácico Superior-Paleógeno, conocido como Orogenia Laramide. Estos eventos deformacionales tienen estrecha relación con el emplazamiento de cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas. En el acuífero afloran rocas de edad cretácica que fueron afectadas por la Orogenia Laramide, originando fallas, pliegues y cabalgaduras, estas últimas no se observan dentro de los límites del acuífero. Los pliegues se presentan principalmente en unidades sedimentarias como las formaciones Madrid y Cerro de La Vieja, pero no en la Formación Tepalcatepec. Los pliegues y fallamientos regionales tienen orientación general noroeste-sureste y las fallas de rumbo nor-noreste y sur-suroeste.

Posterior al evento laramídico se reconoce una tercera fase de deformación de carácter distensivo, que se manifiesta hacia el Neógeno con el desarrollo de fallas normales, fosas tectónicas y vulcanismo asociado. De este periodo destacan en el área de estudio la presencia de fallas normales de orientación general norte-sur que delimitan una fosa tectónica. A nivel regional los lineamientos son claramente visibles en las imágenes de satélite desde los flancos este y oeste del Volcán de Colima y

extendiéndose en dirección sur hasta la costa. Se reconocen otras fallas asociadas de menores dimensiones que intersectan a las estructuras más antiguas.

### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación hidrogeológica con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por materiales clásticos aluviales y fluviales de granulometría variada y conglomerados, acumulados en los cauces de ríos, arroyos y en la planicie costera, cuyo espesor varía de 20 a 120 m y se incrementa de las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, hacia la planicie costera y hacia las fosas tectónicas. Esta es la unidad que actualmente se explota para satisfacer parte de las necesidades de agua subterránea en la zona. Los depósitos granulares fueron, en gran parte, el relleno de depresiones o cuencas formadas en fosas tectónicas constituidas durante la Orogenia Laramide

La porción inferior se aloja en rocas volcánicas, sedimentarias y vulcanoclásticas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración. Las fronteras y el basamento hidrogeológico están representados por las mismas rocas volcánicas y vulcanosedimentarias cuando a profundidad desaparece el fracturamiento y la alteración; así como por las rocas intrusivas. El espesor del medio fracturado puede alcanzar algunas decenas de metros.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

Con base en los estudios hidrogeológicos realizados, los sondeos geofísicos y la información de la geología superficial, es posible establecer que el acuífero es de **tipo libre**, heterogéneo y anisotrópico, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de sedimentos lacustres en las zonas cercanas a las lagunas. Está integrado, en su porción superior, por un medio granular constituido por sedimentos clásticos de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar más de cien metros en la porción centro-sur del acuífero; en su porción inferior por rocas volcánicas, sedimentarias y vulcanosedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración.

### **5.2 Parámetros hidráulicos**

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2013, sólo se ejecutó una prueba de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Adicionalmente, de los estudios llevados a cabo en 1974 y 1978, se cuenta con información de 9 pruebas de bombeo más. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se observa que los valores de transmisividad varían de  **$12.0 \times 10^{-3}$  a  $8.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$** , mientras que la conductividad hidráulica

registra valores que varían de  $8.0 \times 10^{-4}$  a  $1.4 \times 10^{-3}$  m/s (69 a 121 m/d). Los valores más altos se registran en la porción alta de la planicie costera y en las inmediaciones de los cauces principales, donde predominan los clásicos gruesos de alta permeabilidad; en tanto que los valores mínimos se asocian a sedimentos con mayor contenido de arcillas.

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. Sin embargo, de acuerdo a la constitución geológica del acuífero, es posible establecer que el rendimiento específico varía de 0.1 a 0.25.

### 5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se eligió la información piezométrica de los años 2006 y 2013.

### 5.4 Comportamiento hidráulico

#### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático para 2013 muestra que los valores varían de 5 a 35 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia los flancos de las sierras que limitan la planicie costera. Los niveles estáticos más someros, de 1 a 5 m, se registran en los aprovechamientos más cercanos a la costa y entre el fraccionamiento Valle de Las Garzas y Tapeixtles, desde donde se incrementan gradualmente hacia el noreste, hasta 35 m en el Ejido Jalipa (figura 3).

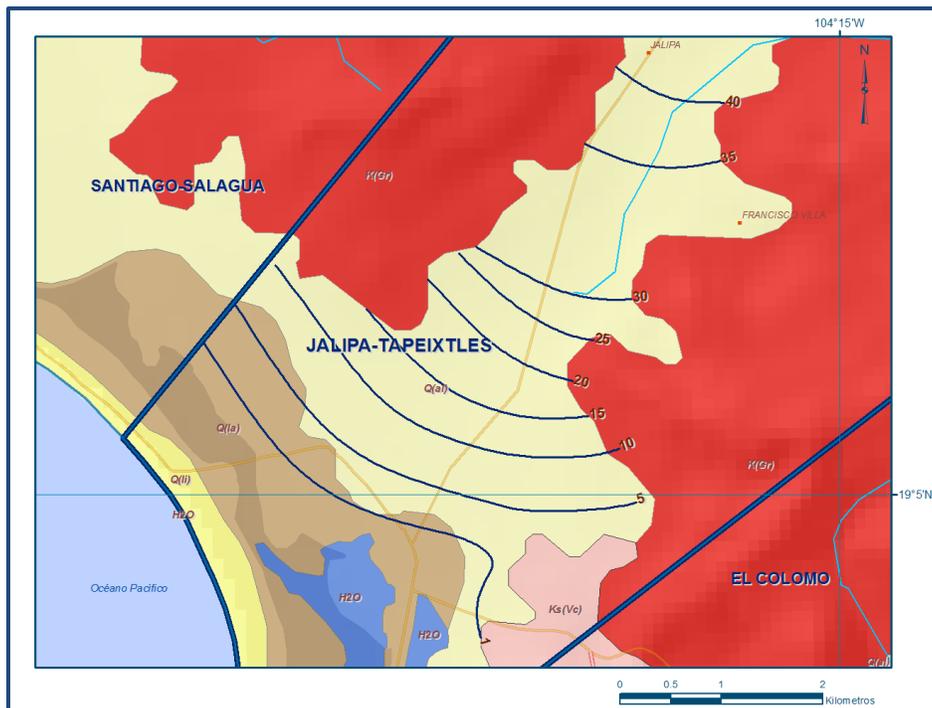


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2013).

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático para el año 2013, se observa que los valores varían de 3 a 35 msnm. Las menores elevaciones, de 3 a 5 msnm, se registran en la región suroeste del acuífero, en las cercanías de las lagunas Las Garzas y San Pedrito, que representan las salidas naturales del acuífero, aumentado gradualmente, al igual que la profundidad, por efecto topográfico, hacia el noreste, hasta 35 msnm que se registran en el Ejido Jalipa (figura 4).

De esta manera se define la trayectoria preferencial del flujo subterráneo NE-SW, paralela a la dirección de escurrimiento superficial. Como resultado de dejar de operar los pozos que abastecían de agua potable a Manzanillo, se recuperaron los niveles del agua subterránea y desaparecieron los conos de abatimiento.

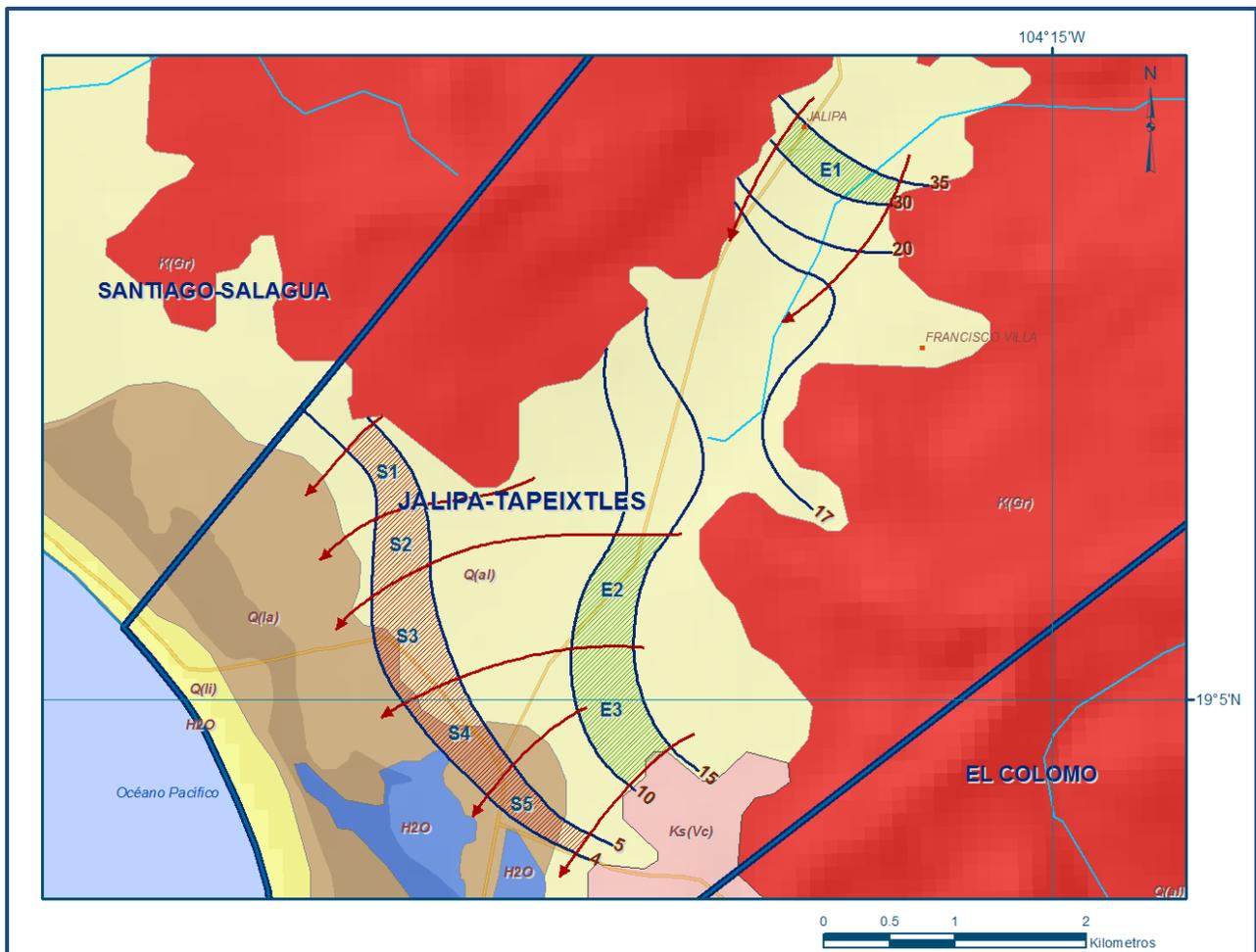


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2013).

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2013, se observa una recuperación generalizada de los niveles del agua subterránea como resultado de haber dejado de extraer agua de los pozos que abastecían a la ciudad de Manzanillo; en promedio de 2 m en los pozos localizados en la colonia FETSE y al sur del fraccionamiento Valle de Las Garzas. En la porción central del acuífero se observan recuperaciones hasta de 10 m (figura 5) que representa un ritmo anual de 0.3 a 1.4 m, con un promedio de 0.7 m. Se presentan abatimientos durante la época de estiaje que se recuperan de manera rápida en la temporada de lluvias.

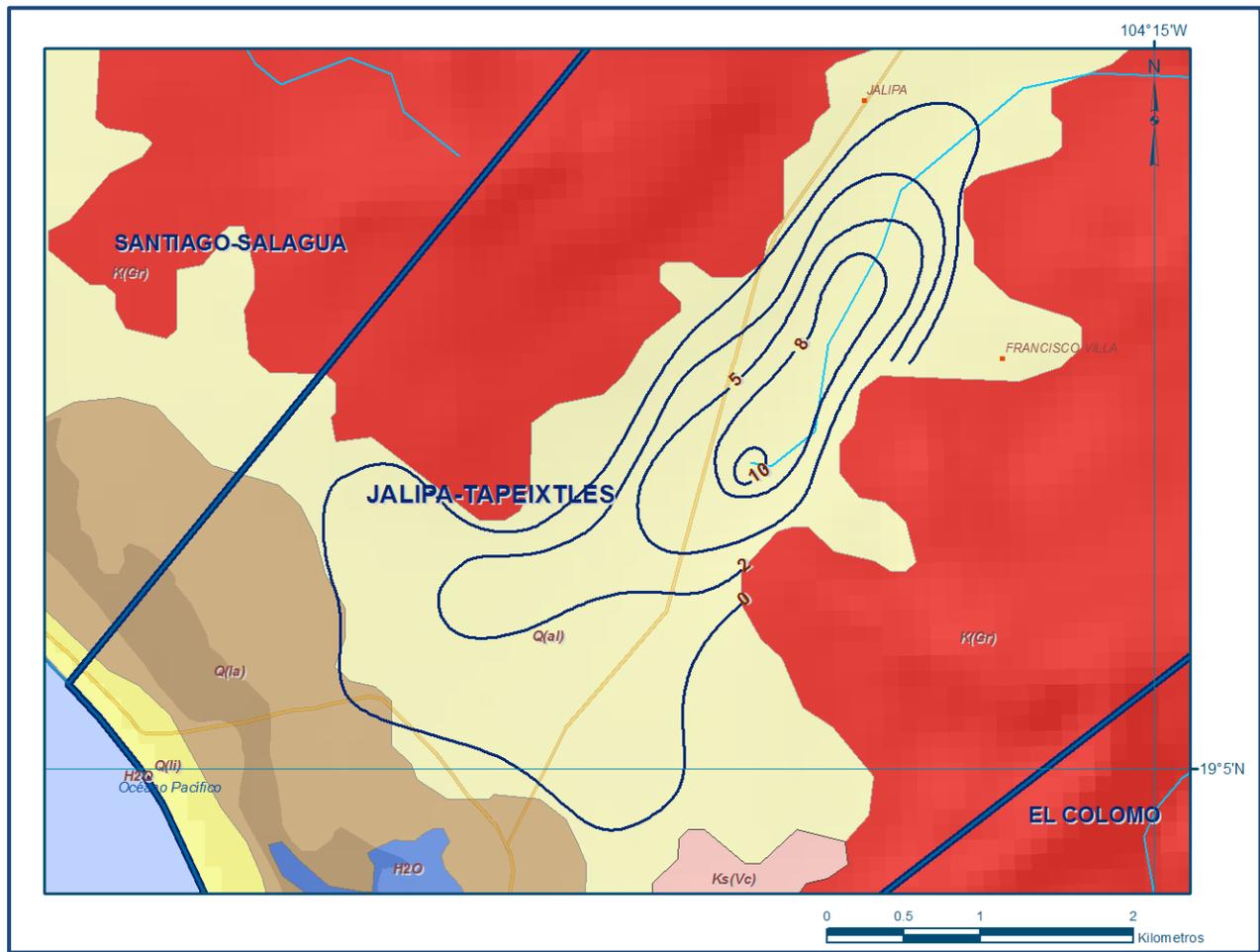


Figura 5. Evolución del nivel estático en m (2006-2013).

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2013, se tomaron 5 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (4 pozos y 1 noria) para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos

totales disueltos (STD), potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), dureza total, dureza al calcio, así como iones principales, metales y metaloides.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, ninguno de los aprovechamientos sobrepasa el límite de sólidos totales disueltos que es de 1000 mg/l, establecido por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, para el agua destinada al consumo humano. Los valores de concentración de STD varían de 200 a 700 mg/l. En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica como dulce, de acuerdo al criterio establecido por la American Public and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 415 a 1420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los mayores valores de concentración de STD y de conductividad eléctrica se registran en la zona costera; las menores se localizan hacia las zonas de recarga que se ubican en la porción oriental del acuífero. Ambos valores se incrementan gradualmente desde la porción nororiental del acuífero hacia la zona costera, en la dirección del escurrimiento superficial. El valor máximo de estos dos parámetros se registró en el pozo de PEMEX

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se observa la presencia de familias de agua de tipo bicarbonatada-cálcica-magnésica, bicarbonatada-magnésica-cálcica, asociadas a agua de reciente infiltración, así como familias con componentes sulfatadas (sulfatada-cálcica-magnésica, sulfatada-bicarbonatada-cálcica-magnésica), asociadas a agua que circula por depósitos evaporíticos relacionados con la presencia de paleo-lagunas.

En lo que se refiere a la presencia de grasas y aceites, todas las muestras presentaron concentraciones menores a 5 mg/l, valores inferiores a los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Los coliformes fecales se presentan en concentraciones menores a 3 y hasta 24,000 NMP/100 ml, mientras que los coliformes totales varían desde menos de 3 hasta 110,000 NMP/100 ml. De los aprovechamientos muestreados sólo uno extrae agua para consumo humano, el cual presenta valores menores a 3 NMP/100 ml de coliformes fecales y totales, por lo que no representa problema para la salud.

De los resultados obtenidos para aniones y cationes, con base en los elementos y determinaciones que considera la NOM-127-SSA1-1994, las concentraciones que superan el límite máximo permitido (LMP) son las siguientes: fierro con 4.2 mg/l y el LMP es de 0.3 mg/l, manganeso con 0.52 mg/l y el LMP es de 0.15 mg/l, cloruros con 310 mg/l y el LMP es de 250 mg/l, dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ) con 763 mg/l y el LMP es de 500 mg/l, así como nitratos (como N) con 28 mg/l y el LMP es de 10 mg/l.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), dos muestras se clasifican como  $\text{C}_2\text{-S}_1$ , que representa agua con salinidad media y bajo contenido de sodio intercambiable, apta para todo tipo de cultivos, y tres como  $\text{C}_3\text{-S}_1$ , que representa salinidad alta y bajo contenido de sodio intercambiable.

## 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en el 2013, se registró la existencia de 24 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 22 son pozos y 2 norias, 14 se consideran activas y 10 inactivas. De las obras activas, 4 son para uso agrícola; 4 para uso público-urbano (3 pozos y una noria) y 3 para servicios. El volumen de extracción calculado es de **6.4 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 5.4 hm<sup>3</sup> (84.4%) se utilizan para abastecimiento de agua potable, 0.8 (12.5%) hm<sup>3</sup> para uso agrícola, 0.1 hm<sup>3</sup> (1.6%) para uso industrial y 0.1 hm<sup>3</sup> (1.5%) para servicios. Para uso pecuario el volumen es muy pequeño.

## 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2006-2013, en una superficie de **17.3 km<sup>2</sup>**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia que existe entre la sumatoria de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el 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:

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

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

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

### 7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero ( $R_t$ ) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos de los ríos y arroyos, que en conjunto se consideran como recarga vertical ( $R_v$ ), y por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ ).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en la redes de distribución de agua potable, constituye otra fuente de recarga al acuífero ( $R_i$ ). Para este caso, debido a que los volúmenes utilizados para riego agrícola son incipientes y que los aprovechamientos de uso público-urbano no abastecen a poblaciones urbanas importantes, se considera para fines del balance de agua subterránea que no existe recarga inducida, por lo que  **$R_i = 0$** .

### 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:

$$E_h + R_v - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

$E_h$ : Entradas subterráneas por flujo horizontal

$R_v$ : Recarga vertical por lluvia

$B$ : Bombeo

$S_h$ : Salidas subterráneas por flujo horizontal

$ETR$ : Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$ : Cambio de volumen de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B + S_h + ETR - E_h \pm \Delta V(S) \quad (2)$$

### 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 piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2013, mostrada en la figura 4. 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:

$$Q = T * B * i$$

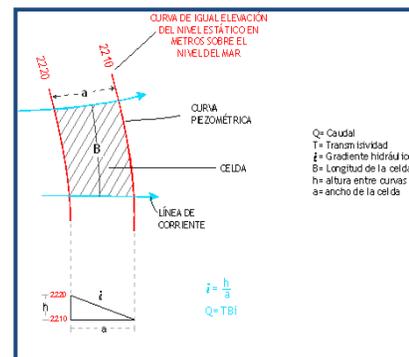
Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

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

$B$  = Longitud de la celda (m)

$i$  = Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada celda establecida (tabla 2). El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **8.2 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	1050	260	5	0.01923	0.0063	0.1272	4.0
E2	740	380	5	0.01316	0.0063	0.0613	1.9
E3	1095	475	5	0.01053	0.0063	0.0726	2.3
<b>Total entradas</b>							<b>8.2</b>

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos, tanto en el acuífero como en otros vecinos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

## 7.2. Salidas

Las salidas del acuífero ocurren a través del bombeo (B), evapotranspiración (ETR) y salidas subterráneas horizontales (Sh). No existe información de descargas naturales por flujo base (Dfb), ni salidas por manantiales (Dm).

### 7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **6.4 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las descargas 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. El valor calculado es de **2.1 hm<sup>3</sup> anuales**, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo las salidas por flujo subterráneo horizontal.

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	665	285	1	0.00351	0.0063	0.0147	0.5
S2	525	475	1	0.00211	0.0063	0.0070	0.2
S3	905	570	1	0.00175	0.0063	0.0100	0.3
S4	950	335	1	0.00299	0.0063	0.0179	0.6
S5	760	285	1	0.00351	0.0063	0.0168	0.5
<b>Total entradas</b>							<b>2.1</b>

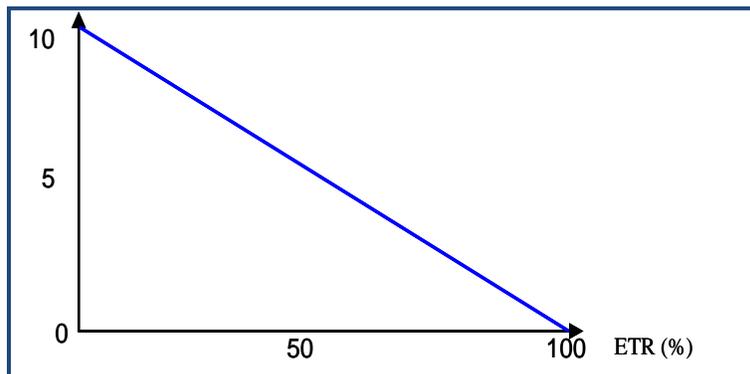
### 7.2.3. Evapotranspiración (ETR)

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) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración. Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura = **26.5 °C** y precipitación= **937.3 mm**. La lámina de ETR que se obtiene es de **875.9 mm**.

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

T (°C) =	26.5		
P(mm) =	937.3	P <sup>2</sup> =	878531.29
L =	1892.98125	L <sup>2</sup> =	3583378.01
ETR (mm)	875.9		

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 10 m, bajo el siguiente proceso: 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 esta manera, la estimación del valor de la evapotranspiración se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el % que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior. La suma total se muestra en la tabla 4, en la que se observa que el volumen de la **ETR = 1.8 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 4. Cálculo de la evapotranspiración real

Intervalo entre curvas (m)	Profundidad media (m)	Área (km <sup>2</sup> )	%	Lámina de ETR (m)	Volumen de ETR (hm <sup>3</sup> /año)
1 a 5	3.0	2.1	0.7	0.8759	1.3
5 a 10	7.5	2.3	0.25	0.8759	0.5
				<b>TOTAL</b>	<b>1.8</b>

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2006-2013 (figura 5). Con base en ella y considerando un coeficiente de almacenamiento  $S_y$  de 0.15 (CONAGUA, 2006), se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 17.3 km<sup>2</sup>, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

- $\Delta VS$ : Cambio de almacenamiento en el período analizado;
- $S$ : Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;
- $A$ : Área ente curvas de evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);
- $h$ : Valor de la variación piezométrica en el período (m)

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica durante el período 2006-2013 se puede observar en la tabla 5. El volumen promedio anual del cambio de almacenamiento asciende a **0.5 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 5. Cálculo del volumen de cambio de almacenamiento (2006-2013)

Evolución (m)	Recuperación promedio (m)	Área (km <sup>2</sup> )	$S_y$	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
10	10.0	0.05	0.15	0.1
8 a 10	9.0	0.6	0.15	0.8
5 a 8	6.5	1.0	0.15	1.0
2 a 5	3.5	1.4	0.15	0.7
0 a 2	1.0	4.0	0.15	0.6
0	0.0	10.3	0.15	0.0
		<b>17.3</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3.2</b>
		Promedio anual		<b>0.5</b>

## Solución de la ecuación de balance

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

$$R_v = B + S_h + ETR - E_h \pm \Delta V(S)$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 6.4 + 2.1 + 1.8 - 8.2 + 0.5$$

$$R_v = 2.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual está definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas:

$$R_t = R_v + E_h$$

$$R_t = 2.6 + 8.2$$

$$R_t = 10.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, la cual indica la metodología para el cálculo de la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

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

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 que recibe el acuífero (Rt), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **10.8 hm<sup>3</sup>/año**.

## 8.2. Descarga natural comprometida (DNCOM)

La descarga natural comprometida se calcula 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/o prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero

Para el caso del acuífero Jalipa-Tapeixtles, su valor es de **3.0 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 2.1 hm<sup>3</sup> corresponden a las salidas por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y 0.9 hm<sup>3</sup> al 50% de la evapotranspiración real que se debe comprometer para preservar el ecosistema costero. Por lo tanto **DNCOM = 3.0 hm<sup>3</sup> anuales**

## 8.3. Volumen concesionado de aguas subterráneas

El volumen anual de la extracción de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte **30 de junio de 2014** es de **8,962,770 m<sup>3</sup> anuales**.

## 8.4. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DAS)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en el 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 REPGA.

$$\mathbf{DAS = Rt - DNCOM - VCAS}$$

$$\mathbf{DAS = 10.8 - 3.0 - 8.962770}$$

$$\mathbf{DAS = - 1.162770 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones, por el contrario su **déficit** es de **1'162,770 m<sup>3</sup> anuales** que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero. Sin embargo, es necesario considerar que el volumen concesionado es superior al de extracción.

## **9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Comisión Nacional del Agua, 1990. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Colima.

Comisión Nacional del Agua, 2006. Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Jalipa-Tapeixtles, Estado de Colima.

Comisión Nacional del Agua, 2013. Exploración Hidrogeológica para Determinar la Posición de la Interfase Salina en la Zona Costera del Acuífero Jalipa-Tapeixtles, en el Estado de Colima. Realizado por el Servicio Geológico Mexicano.

Gobierno del Estado de Colima. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1978. Determinar el potencial hidráulico de los valles aledaños a la Bahía de Manzanillo y definir las fuentes de abastecimiento de agua de buena calidad a futuro inmediato. Realizado por PROYESCO, S.A.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), 1974. Informe de terminación del estudio geohidrológico preliminar de los valles Tecomán-Manzanillo en el Estado de Colima. Realizado por HIDROTEC, S.A.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), 1974. Estudio geohidrológico de los valles costeros en los alrededores de Manzanillo, Colima. Realizado por HIDROTEC, S.A.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), 1975. Ampliación del estudio geohidrológico de los valles costeros cercanos a Manzanillo, en el Estado de Colima. Realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1987. Actualización de las condiciones piezométricas de los valles costeros de Colima.

Servicio Geológico Mexicano, 1996. Carta Geológico-Minera H13-B43 “Manzanillo”, escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2000. Carta Geológico-Minera H13-2-5 “Manzanillo”, escala 1:250,000.