

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO ATOYAC (1223) ESTADO DE
GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
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.....	9
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural	12
4.3	Geología del subsuelo	15
5	HIDROGEOLOGÍA.....	16
5.1	Tipo de acuífero	16
5.2	Parámetros hidráulicos.....	17
5.3	Piezometría	18
5.4	Comportamiento hidráulico.....	18
5.4.1	Profundidad al nivel estático	18
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3	Evolución del nivel estático	20
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	21
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	22
7.1	Entradas	22
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	23
7.1.3	Recarga inducida (Ri)	25
7.2	Salidas.....	25
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	25
7.2.2	Salidas por flujo horizontal (Sh).....	25
7.2.3	Evapotranspiración (ETR).....	26
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	28
8	DISPONIBILIDAD	28
8.1	Recarga total media anual (R).....	29
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	29
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	29
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	30
9	BIBLIOGRAFÍA	31

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

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

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

1.1 Localización

El acuífero Atoyac, definido con la clave 1223 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Guerrero, delimitada por los paralelos 16° 57´ y 17° 32´ de latitud norte y los meridianos 100° 04´ y 100° 32´ de longitud oeste, abarcando una superficie de **1,801 km²**. Limita al norte con los acuíferos Altamirano-Cutzamala y Tlacotepec, al este con el acuífero Coyuca, al oeste con Tecpan y al sur con el Océano Pacífico (Figura 1).

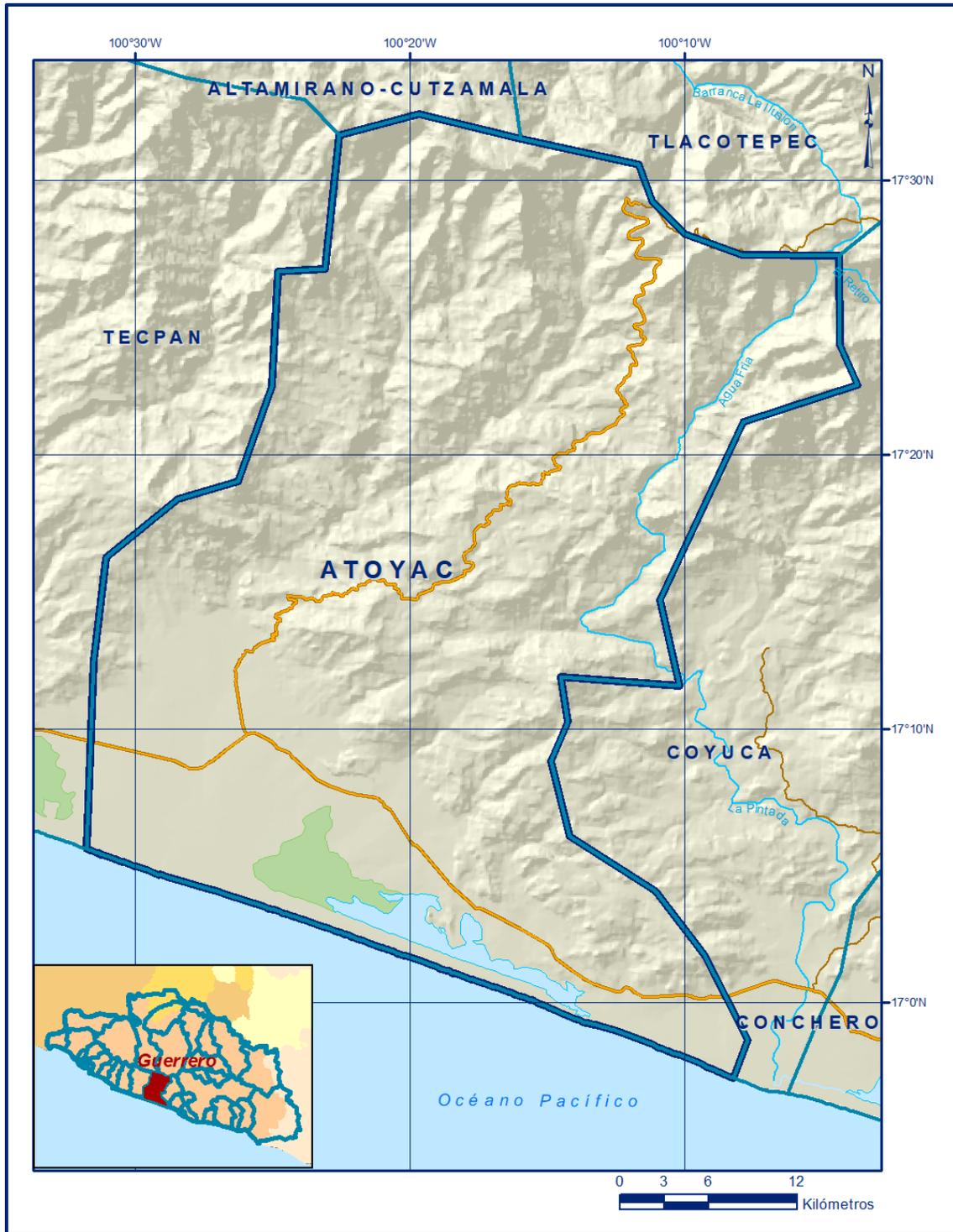


Figura 1. Localización del acuífero

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 del acuífero

ACUIFERO 1223 ATOYAC							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	31	47.0	17	5	37.3	
2	100	31	31.2	17	12	28.7	
3	100	31	5.3	17	16	15.5	
4	100	28	26.6	17	18	24.0	
5	100	26	16.4	17	19	2.0	
6	100	25	2.3	17	22	28.9	
7	100	24	48.5	17	26	41.6	
8	100	23	5.1	17	26	47.4	
9	100	22	35.0	17	31	39.7	
10	100	19	39.7	17	32	27.4	
11	100	15	57.8	17	31	31.6	
12	100	11	40.1	17	30	35.7	
13	100	11	11.7	17	29	17.1	
14	100	9	57.6	17	28	3.0	
15	100	7	55.1	17	27	18.4	
16	100	4	22.9	17	27	16.2	
17	100	4	19.5	17	24	0.0	
18	100	3	41.3	17	22	33.0	
19	100	7	50.9	17	21	12.1	
20	100	10	53.8	17	14	42.5	
21	100	10	10.3	17	11	34.8	
22	100	14	29.6	17	11	53.7	
23	100	14	15.2	17	10	15.1	
24	100	14	52.1	17	8	49.3	
25	100	14	10.6	17	6	6.0	
26	100	11	3.8	17	4	5.1	
27	100	9	17.5	17	1	45.8	
28	100	7	42.2	16	58	40.5	
29	100	8	12.2	16	57	15.9	DEL 29 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	100	31	47.0	17	5	37.3	

Geopolíticamente se encuentra ubicado en los municipios de Atoyac de Álvarez, Benito Juárez, Coyuca de Benítez y San Miguel Totolapan.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Atoyac pertenece al Organismo de Cuenca IV “Pacífico Sur”, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Guerrero. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de los Municipios de Acapulco, Coyuca de Benítez, Juan R. Escudero, San Marcos, Mochitlán y Chilpancingo; Gro” y del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de José Azueta, Petatlán, Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, Gro.”, publicados en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de febrero de 1975 y el 6 de marzo de 1978 respectivamente.

De estos decretos el primero no está clasificado y el segundo es de tipo II que permite la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El usuario principal es el agrícola. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Balsas instalado el 29 de Marzo del 2000. 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

A continuación, se presenta un resumen de los trabajos consultados, en donde se describen de manera breve los objetivos, alcances y/o conclusiones:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL VALLE ACUÍFERO COACOYUL-SAN MIGUELITO, PARA DEFINIR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LA LOCALIDAD DE IXTAPA ZIHUATANEJO, GRO. 1991. REALIZADO POR LA EMPRESA INGENIERÍA Y PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO, S.A. DE C.V.

Entre sus resultados más importantes destaca que el acuífero recibe una recarga de 15.5 hm³ anuales, en tanto que las salidas totales ascienden a 11.4 hm³, por lo que el cambio de almacenamiento es de 4.1 hm³ anuales. Sin embargo, concluye que no es conveniente explotar en forma intensiva el acuífero y recomienda sólo la perforación de obras someras para usos locales, con caudales de extracción del orden de los 5 lps para no inducir la intrusión salina.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA ZONA DE COACOYUL-SAN MIGUELITO, ESTADO DE GUERRERO. REALIZADO POR LA EMPRESA INGENIERÍA DE EVALUACIÓN Y PROSPECCIÓN, S.A. DE C.V.; DICIEMBRE 1999.

Mediante este estudio se actualiza en censo de aprovechamientos y la piezometría, se define el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico y se llevan a cabo perforaciones exploratorias para investigar la posición de la interfase salina. Identifica la presencia de agua salobre en la zona comprendida entre Playa Larga y Las Pozas y zonas favorables para la perforación de pozos, localizadas en las inmediaciones de los cauces de los arroyos Coacoyul y San Miguelito, donde el espesor de los depósitos granulares es mayor.

En dichas zonas recomienda la exploración mediante obras someras de hasta 25 m de profundidad con gastos máximos de 5 lps, con un espaciamiento entre ellas no menor a los 1300 m.

ACTUALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LOS ACUÍFEROS DE IXTAPA, BAHÍA DE ZIHUATANEJO Y BAHÍA DE ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO, 2003. REALIZADO POR LA EMPRESA CONSULTORÍA BETSCO, S. A. DE C.V. PARA LA CONAGUA. Con la piezometría recabada en campo y la nivelación de brocales fue posible elaborar las configuraciones del nivel estático y actualizar el conocimiento de la posición de los niveles del agua subterránea en la red piloto, definida previamente, para el monitoreo de la calidad y los niveles del agua subterránea.

Concluye que aunque no existen evidencias de sobreexplotación debido a la constante renovación del agua alojada en los depósitos aluviales del Río Ixtapa, es necesario tener control de las extracciones y recomienda llevar a cabo un estudio de actualización hidrogeológica que incluya el censo completo de aprovechamientos, pruebas de bombeo, cálculo de la extracción y monitoreo de la calidad del agua. Adicionalmente, se recopiló información geológica de artículos como:

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EN LA SIERRA MADRE DEL SUR DE MÉXICO, ENTRE CHILPANCINGO Y ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO, 1965. Zoltán De Cserna. Instituto de Geología, UNAM., Boletín No. 62 y **CARTA GEOLÓGICO-MINERA ACAPULCO E14-11, GUERRERO Y OAXACA**

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS ATOYAC Y CHILPANCINGO, 2008. REALIZADO POR LA EMPRESA GEOPSA, S. A. DE C.V. PARA LA CONAGUA. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar condiciones geohidrológicas del acuífero para determinar su disponibilidad de aguas subterráneas.

Para ello se realizó: censo de aprovechamientos e hidrometría de agua subterránea, cálculo del volumen de extracción, piezometría, muestreo del agua subterránea, definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, ejecución e interpretación de pruebas de bombeo, realización de sondeos Transitorios Electromagnéticos (TEM´s), nivelación de brocales, planteamiento del balance hidrometeorológico y de aguas subterráneas, y determinación de la recarga media anual que recibe el acuífero.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que se analizan y discuten en los apartados correspondientes.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

La zona se ubica fisiográficamente dentro de la provincia fisiográfica “Sierra Madre del Sur”, que de acuerdo a la clasificación de INEGI (1991) cubre totalmente la superficie del Estado de Guerrero. Esta provincia incluye la región montañosa desde la porción sur del estado de Colima, hasta el Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, limitada al norte por la provincia del Eje Neovolcánico, mientras que hacia el oriente se encuentra la denominada Meseta Oaxaqueña.

El estado de Guerrero a su vez está dividido en 3 subprovincias; “Cuenca Balsas Mexcala”, “Taludes Meridionales” y “Planicie Costera del Pacífico”. La segunda de ellas está constituida por rocas metamórficas del Paleozoico, calizas, lutitas, limolitas y areniscas del Mesozoico, así como por rocas intrusivas de composición granítica, mientras que la Planicie Costera la constituyen principalmente rocas Cenozoicas (boleos, gravas, arenas, limos y arcillas), que forman depósitos de litoral, aluviales, deltaicos y depósitos eólicos.

Por su parte, el Acuífero Atoyac, se encuentra dentro de las subprovincias Taludes Meridionales y Planicie Costera, cubriendo una mayor superficie de esta última. Con base a la expresión superficial y morfológica la zona presenta dos tipos de relieves, el primero de ellos formado por elevaciones topográficas de origen ígneo y el segundo está representado por los sedimentos que conforman la planicie costera, los cuales están formados por arena de granulometría media a fina, así como por los depósitos aluviales producto de la desintegración de las rocas preexistentes.

Propiamente la zona de Atoyac, está conformada, por una planicie en la plataforma marina que se extiende con rumbo noroeste-sureste, con dimensiones de 40 kilómetros de largo por 10 km de ancho. Esta zona inicia desde la denominada comunidad Playa del Carrizal y San Lucas, al sureste de la Laguna Mitla; al noroeste limita a la altura de la comunidad Rancho Los Canarios, en las inmediaciones de playa San Jerónimo, el límite norte está representado por la presencia del macizo montañoso, en las inmediaciones de la comunidad de Atoyac de Álvarez, con elevaciones sobre el nivel del mar de 100 m.

3.2 Clima

En la zona el clima varía en relación a su relieve, presentándose dos tipos en la región montañosa, de acuerdo con los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García. El primero semi-cálido con temperatura media anual superior a los 18° C, con régimen de lluvias en verano.

Por otra parte, en la Planicie Costera el clima es muy cálido, con temperaturas que oscilan entre 22 y 35° C, con un régimen de lluvias de verano extremoso. El valor promedio de la temperatura es de **28.1° C**. Las variantes de precipitación, temperatura y evaporación definen un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A) C (w0). La lluvia promedio anual varía de **1,171 a 2,700 mm**; este último valor registrado en la estación Río Santiago, mientras que el valor más bajo corresponde a la estación Atoyac. El valor promedio de la precipitación es de 1017 mm anuales. En cuanto a la evaporación potencial, su valor promedio anual es de **1,171 mm**. La información recabada procede de la Gerencia del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua, así como del programa ERIC II, desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual integra dentro de una base de datos los registros históricos de todas las estaciones climatológicas de la República Mexicana.

3.3 Hidrografía

De acuerdo con la clasificación de Regiones Hidrológicas, el estado de Guerrero queda subdividido por tres Regiones: La RH-18 “Balsas”, localizada al norte del estado, cubre más del 60% de su territorio, mientras que la RH-19 “Costa Grande de Guerrero” y la RH-20 “Costa Chica de Guerrero”, localizadas sobre la vertiente sur del estado, cubren una superficie aproximada del 40%. El Acuífero “Atoyac” se ubica en la Región Hidrológica 19 “Costa Grande de Guerrero”, sobre la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur.

Bajo el mismo criterio hidrológico, se ha dividido todo el territorio nacional en cuencas hidrológicas, al respecto el acuífero Atoyac pertenece a la cuenca denominada como “Río Atoyac y Otro”. En esta cuenca los escurrimientos más importantes tienen su origen en las partes altas de la Sierra Madre del Sur; destaca en la zona el Río Atoyac, mismo que desemboca en el océano Pacífico en la zona denominada como Paraíso Escondido.

3.4 Geomorfología

De acuerdo con las características geomorfológicas se pueden observar dos zonas, la primera de ellas se localiza desde la comunidad de Llano Real hasta San Lucas, donde se observa el desarrollo de una laguna litoral “Laguna Mitla” con una longitud de 23 km y un ancho promedio de 3 km; está separada del mar por una barra de apenas 1 km de ancho.

En esta zona destaca la presencia de un alto topográfico representado por la presencia de rocas cristalinas con altitudes de 70 metros sobre el nivel del mar, en la parte central de la laguna.

Al noreste de la laguna, se observa una amplia zona de inundación, misma que alcanza las comunidades de Llano Real y Paraíso Escondido, hasta alcanzar la desembocadura del Río Atoyac.

Al noreste de la zona a la altura de Playa San Jerónimo, se presenta una amplia planicie costera, con la presencia de algunas elevaciones topográficas desarrolladas al poniente de la comunidad de San Jerónimo, con elevaciones de 40 m.

En las inmediaciones de la comunidad de Atoyac de Álvarez, la expresión geomorfológica de la zona cambia de forma abrupta, por la presencia de estructuras desarrolladas sobre rocas de carácter ígneo y metamórfico, donde se observa un incremento en el gradiente topográfico, ya que en una distancia de apenas 1,000 metros se presentan diferencias topográficas mayores a 80 m.

4 GEOLOGÍA

La geología del estado de Guerrero es compleja, ya que la entidad se encuentra dividida en diferentes terrenos, con estratigrafías variadas, pertenecientes a cuencas de depósito, unidades corticales y oceánicas de tamaño, litología, deformación y edad variables; así mismo se han desarrollado durante su historia geológica depósitos relacionados con arcos insulares y mares marginales, originando depósitos vulcano-sedimentarios, sedimentos marinos y continentales (terrenos Guerrero, Mixteco y Xolapa). La distribución de las rocas que afloran en el área del acuífero, se muestra en la figura 2.

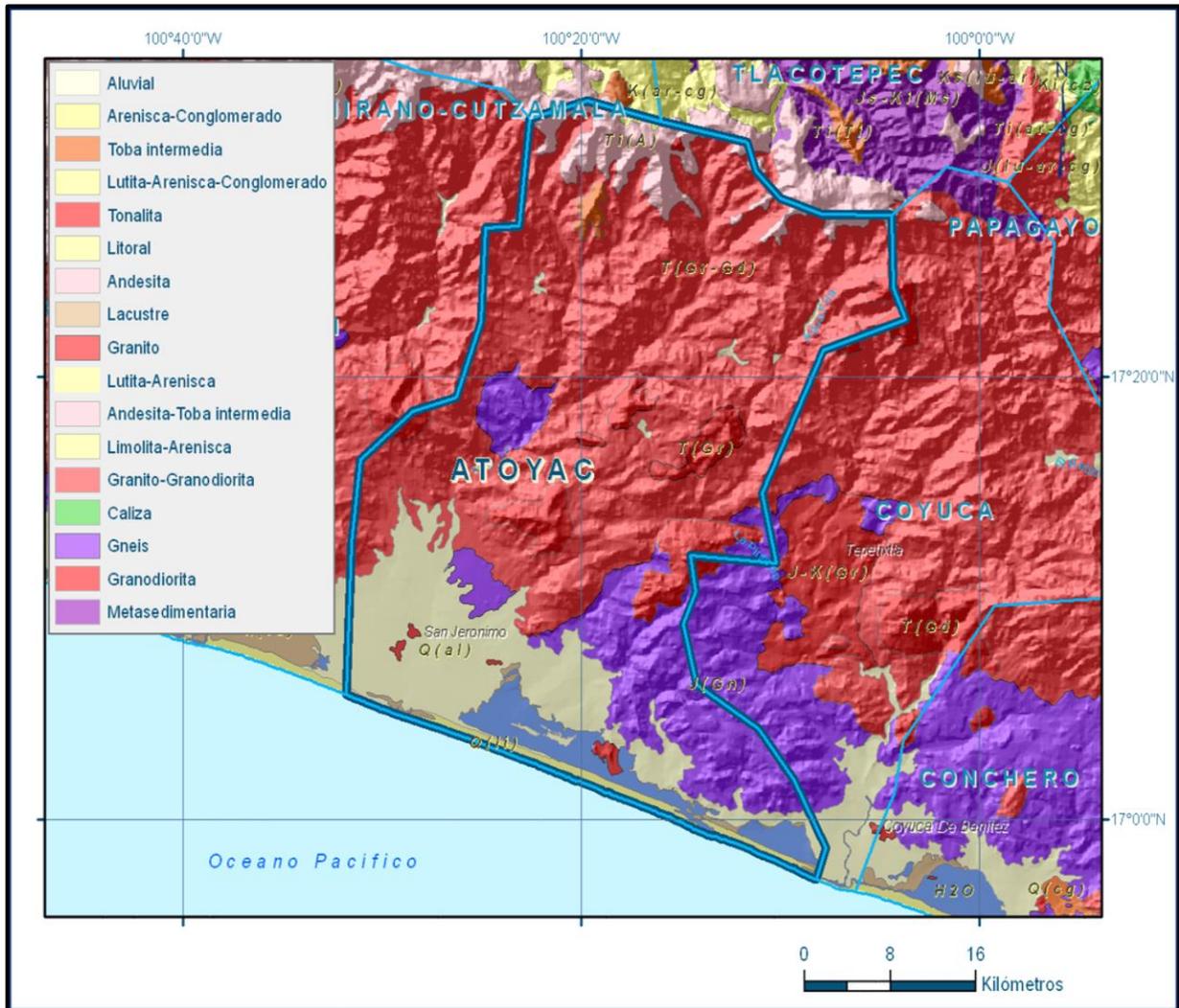


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El área se encuentra dominada por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y depósitos recientes. A continuación, se describe la columna estratigráfica, de la unidad más antigua a la más reciente.

Rocas metamórficas (J Gn)

Las rocas más antiguas que afloran en la zona pertenecen al Complejo Metamórfico Xolapa, que fue descrito por primera vez por Zoltán De Cserna en 1965, quien lo define como una secuencia de rocas metasedimentarias formadas por esquistos y gneis de biotita, mármol y anfibolitas.

Este complejo metamórfico consta de dos grandes grupos de rocas cuya unidad más antigua está constituida por paragneises, esquistos pelíticos, esquistos de biotita, cuarcita, cuyos protolitos sedimentarios son interpretados como interestratificaciones de grauvacas, rocas pelíticas y carbonatos con edades consideradas entre 1000 a 1,300 millones de años (Monografía Geológica Minera del Estado de Guerrero, 1999).

El segundo grupo es el más ampliamente distribuido, cuya litología consiste principalmente de ortogneises, anfibolitas y migmatitas en facies de anfibolita. En este grupo se desarrolló un metamorfismo de alto grado y una migmatización a gran escala, que ocurrió entre 66 y 46 millones de años. Por su constitución litológica y por tratarse de una roca consolidada, esta unidad se considera impermeable, ya que funciona como una barrera natural al flujo del agua subterránea.

Rocas ígneas intrusivas (J-K Gr-Gd)

Posterior a la acreción del Complejo Xolapa, se desarrolla un magmatismo, conocido como el batolito de Acapulco, que se caracteriza por presentar una serie de cuerpos intrusivos de composición granítica, granodiorítica y diorítica.

El principal sistema de fracturamiento de estas rocas presenta una inclinación principal hacia el SW con un rumbo general de N70°W; mientras que el sistema secundario de fracturamiento tiene una orientación de N30°E. En ocasiones, el fracturamiento a profundidad puede localmente estas rocas, separándolas en porciones individuales o bloques.

Este macizo rocoso emerge hacia el Norte e inclinado hacia el Sur; por lo que forma la depresión donde se localiza la Ciudad de Atoyac. Pese a que esta unidad se encuentra alterada y fracturada en su porción superior, no ofrece ninguna perspectiva de poder almacenar agua, por lo cual se considera impermeable.

Depósitos aluviales (Qal)

Cubriendo a las rocas metamórficas del Complejo Xolapa y a las rocas ígneas intrusivas, se encuentra el material aluvial; producto de la alteración de estas rocas. Cuando el material es aportado por la desintegración de las rocas graníticas, el resultado son depósitos locales arenosos, que siguen las fracturas y van ampliándose formando grandes depósitos de suelos arenosos (arkósicos).

Por otro lado, si el material es aportado por la desintegración de las rocas metamórficas, el resultado son depósitos de material más fino que los que proporcionan las rocas ígneas. Debido a que estos materiales tienen una buena permeabilidad y son capaces de almacenar agua, representan la principal unidad acuífera de la zona.

Depósitos de playa (Q li)

Corresponden con los sedimentos depositados por el viento y olas marinas que forman los depósitos de playa que limitan el área continental y que funcionan como medio para que el agua del acuífero entre en contacto con el agua de mar.

4.2 Geología estructural

Al inicio del Mesozoico se presentan levantamientos en la superficie, plegando las rocas y acentuando su metamorfismo. Contemporáneamente, la plataforma emergió propiciando la transgresión de aguas marinas, generando el depósito de sedimentos calcáreos, representados actualmente por calizas de estructura masiva y de espesor reducido, propiamente durante el Cretácico Superior.

Posterior a otro levantamiento cortical, se originaron plegamientos y procesos erosivos, los cuales fueron acompañados de una intensa actividad ígnea, representada por rocas graníticas que en el subsuelo constituyen batolitos y que en particular, en la zona, se presentan en pequeños cuellos que durante el Paleógeno-Neógeno fueron erosionados, quedando los remanentes que actualmente se aprecian como pequeñas elevaciones.

Para fines del Neógeno y hasta nuestra época, por procesos de intemperismo, erosión y transporte de las aguas fluviales, se han labrado cauces y arroyos sobre las planicies costeras.

Para entender la Geología Estructural y la Tectónica del Estado de Guerrero es necesario considerar que se el estado se divide en un super-terreno y dos terrenos:

Terreno guerrero

El terreno Guerrero constituye el súper-terreno, el cual ha sido el centro de controversias tanto por su contenido, como de sus límites. Está dividido en cinco subterrenos, que cubren la mitad occidental del estado.

Subterreno Teloloapan

Con una extensión de 300 km de longitud y 80 km de amplitud, está constituido por tres conjuntos litológicos, un basamento esquistoso de edad pre-jurásica superior, un arco volcánico del Jurásico Superior-Cretácico Inferior y una cobertura sedimentaria del Cretácico Inferior-Superior (Salinas-Prieto, 1994).

Su límite tectónico oriental adopta una orientación N-S y se pone en contacto por cabalgaduras con la plataforma Guerrero-Morelos, similar a su contacto occidental, donde el subterreno Arcelia cabalga sobre el Teloloapan, el límite meridional está en contacto por falla con el terreno Xolapa (Campa et al, 1981, Sosa, 1990)

Subterreno Arcelia

Este subterreno está expuesto en un cinturón con orientación N-S, de 180 km de largo y 40 km de ancho, paralelo a los subterrenos Teloloapan y Huetamo.

Consiste en dos secuencias tectono-magmáticas diferentes; hacia el oeste, una secuencia de más de 1,500 m de espesor, formada por basaltos almohadillados, brechas y hialoclastitas intrusionadas por numerosos diques y rocas ultramáficas asociadas a basaltos almohadillados. La cobertura sedimentaria consiste principalmente en rocas volcanoclásticas y filitas negras del Jurásico Superior.

Subterreno Huetamo

El subterreno Huetamo es paralelo al subterreno Arcelia, tiene 150 km de largo, un máximo de 80 km de ancho y unos 7,000 m de espesor (Talavera-Mendoza et.al, 1993) Representa la acumulación en una cuenca localizada detrás del arco y se desarrolló sobre corteza oceánica. Es una secuencia esencialmente sedimentaria, ligeramente deformada, que consiste en depósitos vulcanoclásticos, que contiene lavas almohadilladas, turbiditas vulcanoclásticas, calizas arrecifales y lechos rojos.

Su límite septentrional está cubierto por el Eje Neovolcánico y los contactos oriental y austral con los subterrenos Arcelia y Zihuatanejo respectivamente, no se observan por estar cubiertos con depósitos del Paleógeno-Neógeno.

Subterreno Zihuatanejo

El subterreno Zihuatanejo aflora desde Colima hasta Zihuatanejo y consiste de dos conjuntos; el inferior es complejo e incluye rocas metamórficas, volcánicas, ultrabásicas y turbiditas de edades inciertas, con deformación variable.

El conjunto superior está formado por una secuencia de andesitas, riolitas e ignimbritas interestratificadas con calizas y capas rojas. Las lavas son calcoalcalinas y denotan influencia cortical (Vidal Serratos, 1991).

La deformación que afectó este subterreno produjo pliegues amplios de estilo laramídico, que han sido fallados fuertemente, por tratarse de una zona activa, altamente sísmica, de tipo convergente.

Subterreno Papanoa

Es el de menor extensión, de aproximadamente 60 km de longitud por 10 a 20 km de ancho. Vidal Serratos (1991) divide los componentes de este subterreno en una secuencia de rocas ígneas ultrabásicas y básicas representada por una serie o complejo ofiolítico.

La mayoría de estas rocas tiene una foliación leve y están parcialmente serpentinizadas en menor o mayor grado.

Terreno mixteco

El terreno Mixteco aflora en la parte nororiental del estado, teniendo, dentro de los confines del estado, aproximadamente 120 km de largo y 130 km de ancho.

Es el único de los terrenos guerrerenses al que con seguridad se le conoce basamento, constituido por el Complejo Acatlán, del Paleozoico Inferior, cubierto en forma aislada por sedimentos del Pérmico, más ampliamente por una secuencia del Jurásico y, por último, por una secuencia de calizas del Albiano, mejor desarrollada en lo que constituye la plataforma Guerrero-Morelos (Ramírez Espinosa, 1982).

Terreno xolapa

El terreno Xolapa es el más grande, pero el menos conocido de los terrenos en el sur de México; comprende un área aproximada de 70 a 100 km de amplitud y se extiende 600 km a lo largo de la costa del Pacífico.

Este terreno representa la raíz de un arco magmático del Mesozoico medio al Paleógeno, caracterizado por orto, paragneis y migmatitas en conjunto con plutones sintectónicos y postectónicos, consistiendo en rocas con un alto grado de metamorfismo.

Los contactos del terreno Xolapa con los terrenos Guerrero y Mixteco están caracterizados por milonitas, con una asociación a fallas normales (Herrmann, 1994), producto de reactivación de otras estructuras (Tolson, 1997).

Como resultado de los procesos geológicos que se han desarrollado en la zona de interés, la secuencia litológica con excepción de los depósitos aluviales, está afectada por fallas normales, fallas inversas, fallas de inflexión y algunas otras de tipo rotacional, producto de la tectónica que ha imperado en la región, lo que tiene una influencia directa en el desarrollo del relieve.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información litológica de la zona, cortes litológicos de pozo y los registros eléctricos realizados durante el presente estudio, se puede definir que el acuífero principal se encuentra alojado en la secuencia granular y sedimentos fluviales que constituyen la zona del valle, su espesor varía de 15 a 200 metros, desde las inmediaciones de la ciudad de Atoyac hacia la línea de costa.

Constituido principalmente por la presencia de material granular, producto de la alteración in situ de las rocas graníticas y metamórficas así como por el arrastre de material por efecto del oleaje. De acuerdo con el reconocimiento geológico efectuado en la zona, se puede precisar que superficialmente se presentan depósitos de arenas de granulometría media a fina mismas que cubren el 80% de la superficie total de la zona.

Unidad impermeable. A esta unidad pertenecen rocas graníticas que se encuentran aflorando en el límite norte del acuífero, básicamente en la zona serrana, su expresión superficial se extiende hacia el este, cubre casi la totalidad de la zona hasta el límite con la Laguna de Mitla San Nicolás.

La comunidad de Atoyac de Álvarez se ubica geológicamente sobre la secuencia granítica-granodiorítica, mostrando hacia su porción norte un incremento en la altitud topográfica hasta alcanzar los 500 msnm.

En términos generales geológicamente esta roca cristalina pertenece al denominado Complejo Xolapa. Representando tanto la base como límite lateral.

Unidad semipermeable. La secuencia Lacustre se localiza en las inmediaciones de la laguna Mitla; esta unidad está conformada por limos y arcillas de poco espesor que se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las rocas graníticas. Por su constitución litológica, baja permeabilidad y transmisividad, carece de interés hidrogeológico.

Unidad permeable. Esta unidad agrupa a los sedimentos fluviales, los de cauce aluvial y secuencia litoral debido a que su granulometría pertenece principalmente al tamaño grava, arena y limo. Esta unidad presenta buena porosidad y alta permeabilidad, misma que superficialmente facilita la infiltración del agua de lluvia.

Además, esta unidad es susceptible de inundarse durante las crecientes del río, razón por la cual puede llegar a funcionar como acuífero, cuando alcanza un espesor considerable.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

La zona del Acuífero Atoyac cubre una superficie total aproximada de 1,240 km², sin embargo, la zona de explotación se concentra en la parte baja de la planicie costera, cercana a la línea de costa, se extiende con dirección NW-SE sobre una distancia aproximada de 50 kilómetros y un ancho variable que varía de 3 a 15 km, desde las inmediaciones de la comunidad Rancho Los Galeana hasta Atoyac.

Litológicamente el acuífero se encuentra constituido por una secuencia de materiales de tipo granular de origen sedimentario –gravas, arenas de grano medio a fino-, cuyo espesor varía de 25 a 200 m, alternando en algunas zonas con materiales de granulometría gruesa. No obstante, hacia el límite sur se presentan la Laguna de Mitla, zona donde se presentan espesores importantes de material lacustre.

La información obtenida en campo permite deducir que el acuífero está limitado horizontal y verticalmente por rocas graníticas probablemente paleozoicas, que conforman el núcleo de la sierra limítrofe localizada hacia el norte, y cuya configuración estructural e forma de intrusiones y presencia de fallamiento en el subsuelo, determina fuertes cambios en el espesor del relleno granular en la zona de explotación.

Presenta además prominencias topográficas conformadas por rocas graníticas, como se observa al suroeste de la comunidad de San Jerónimo y al norte del poblado Las Tunas.

Los resultados obtenidos mediante la exploración geofísica permitieron determinar que en las inmediaciones del poblado San Jerónimo, el espesor de los sedimentos granulares tiene un máximo de 50 m, secuencia que se acuña hacia el norte, donde se localiza el poblado de Atoyac, mientras que hacia la línea de costa se identificaron espesores menores de 10 m.

No obstante que esta secuencia granular conforma en su mayor parte el acuífero de la región, de acuerdo al comportamiento hidrológico de la zona, es probable que la cima de la secuencia granítica alterada forme parte de él, funcionando en todo su espesor como acuífero de **tipo libre**.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en el 2008, se realizaron 5 pruebas de bombeo y se recopilaron datos de otras realizadas tanto en este acuífero como en otros vecinos.

En términos generales, las pruebas presentan algunas deficiencias; en primera instancia porque la gran mayoría de los pozos disponibles son poco profundos y se desconoce sus características constructivas, especialmente en cuanto a la ubicación de sus cedazos.

De la interpretación de las pruebas de bombeo se deduce que los valores de transmisividad varían en el rango de **0.12 a 63.0 X10⁻³ m²/s**, dependiendo de la granulometría de los depósitos donde se alojan los aprovechamientos, con un valor medio de **31.0 X10⁻³ m²/s**.

Estos valores revelan que se trata de un acuífero de capacidad transmisora de media a alta, derivada de la permeabilidad y espesor de los materiales granulares que lo constituyen.

Así mismo, debido a que las pruebas de bombeo no contaron con pozo de observación, no fue posible la estimación del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Para la descripción del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se describirán las configuraciones correspondientes al año 2008.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático en el periodo octubre-noviembre del año 2008, muestra valores que varían entre unos cuantos centímetros, en la franja costera, hasta 8.0 metros, que se registran en la localidad Las Peñas, ubicada al occidente del acuífero (Figura 3).

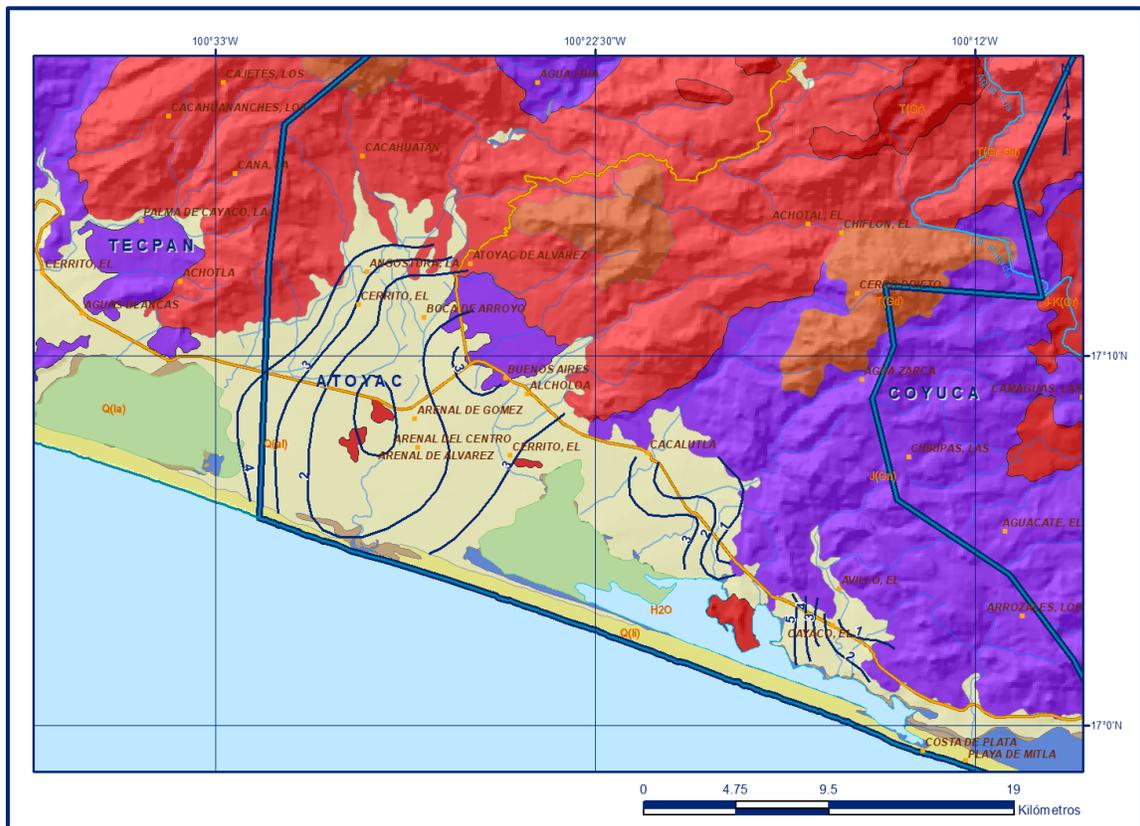


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2008)

Al suroeste de la comunidad de Atoyac se midieron profundidades del orden de 4 a 6 metros, mientras que hacia la porción suroriental son inferiores a 1 m, marcando contraste entre ambas zonas a pesar de estar separadas por apenas 1.5 kilómetros. Hacia la parte central del valle, en la zona delimitada por las comunidades La Huerta de Juan Hernández y San Jerónimo de Juárez se observa una curva que engloba profundidades superiores a los 2 metros.

Sobre la línea de costa, en la zona localizada en la margen derecha del río Atoyac, se presentan profundidades del nivel estático que varían de 2 a 3 m, identificadas a escasos 600 metros de la línea de costa en la zona comprendida entre las comunidades El Llanete, Playa San Jerónimo, Alcholoa y Colonia La Laja. En las inmediaciones del Rancho Los Gallardo y Huerta Los Solís, se observaron aprovechamientos donde el nivel estático prácticamente se encuentra a nivel de terreno. Hacia la porción oriental del acuífero, en las inmediaciones de las comunidades de Colonia Cuauhtémoc y Zacualpan se registraron valores promedio de 3 metros de profundidad, destacando la presencia de un valor de 6.4 metros y 4.0, identificados al norte de Colonia Cuauhtémoc y sur de Zacualpan, respectivamente. Sobre la barra que delimita la laguna de Mitla se registran valores de 3 a 6 m.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático se realizó de acuerdo a la nivelación efectuada a 20 aprovechamientos, con el apoyo de otros cuya elevación aproximada se obtuvo de las cartas topográficas editadas por INEG (figura 4).

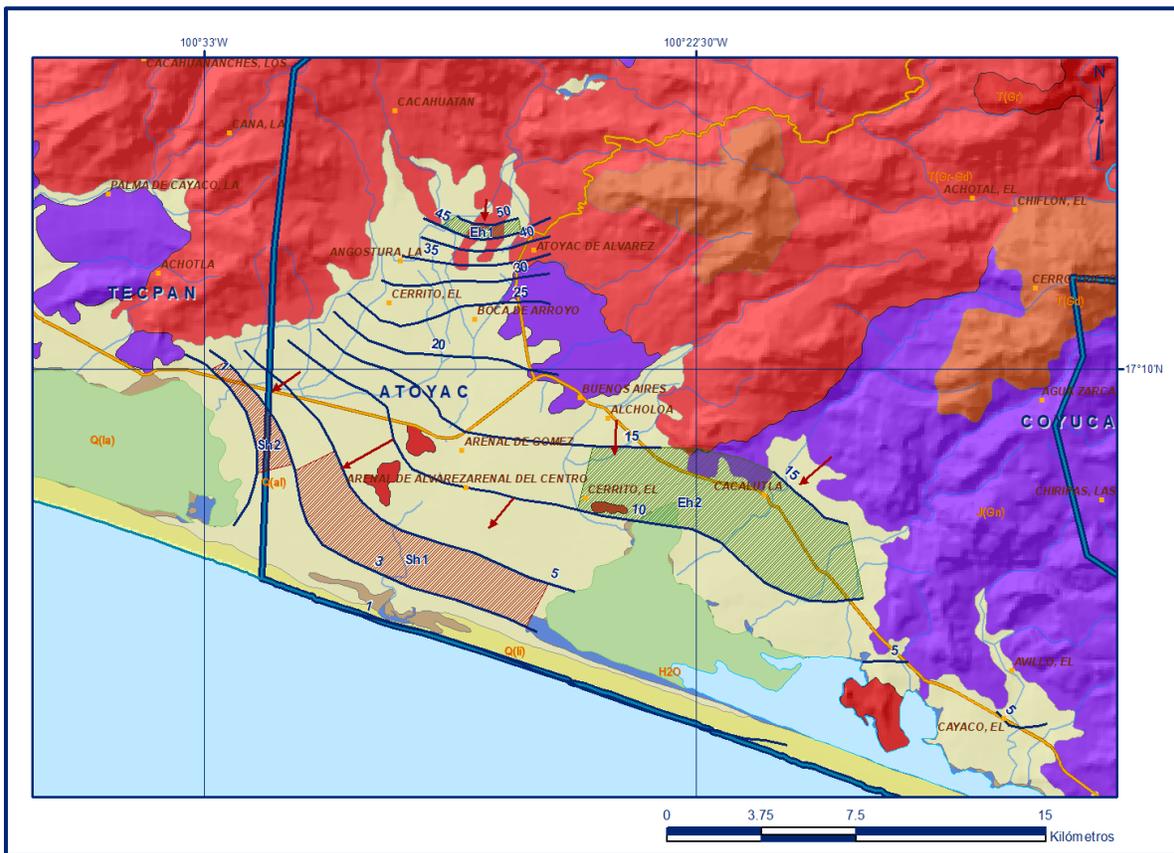


Figura 4. Elevación del nivel estático 2008 (msnm)

La máxima elevación registrada en la zona se registró al norte de la comunidad de Atoyac de Álvarez, con elevaciones de 60 msnm, a escasos metros de la cortina de la presa derivadora La Mina.

La elevación del nivel estático disminuye hacia el sur, con dirección a la línea de costa, donde se presentan elevaciones de algunos decímetros. En la cabecera municipal se presentan elevaciones de 55 hasta 29 metros, mostrando valores máximos al norte de Atoyac, mientras que los valores mínimos se localizan hacia el sur de esta comunidad, identificados en las inmediaciones del río Atoyac.

En las inmediaciones de la comunidad El Ciruelar se observan elevaciones superiores a 30 msnm, mostrando una disminución al sureste en dirección a la comunidad San Jerónimo, donde se identificaron elevaciones de 9 a 25 metros.

En el área que define la carretera federal 200, la línea de costa y el río Atoyac, los valores de elevación son inferiores a los 15 msnm, destacando valores de 18 a 21 msnm observados en la comunidad Las Tunas.

En la zona definida por las comunidades de El Alfaque y Rancho El Llanete, las elevaciones van de 2 a 6 msnm, a una distancia de 700 metros de la línea de costa.. Por otra parte, en la zona donde se localiza la comunidad El Huicon, al sureste del acuífero, 3 kilómetros al oriente de la comunidad Colonia Cuauhtémoc, se registraron elevaciones superiores a 60 msnm, que descienden en dirección suroeste hacia la comunidad de Zacualpan donde se registraron elevaciones del orden de 13 a 17 msnm.

5.4.3 Evolución del nivel estático

No existe información de la zona que permita calcular la evolución para un periodo de tiempo en años. Sin embargo, es evidente que la dinámica hidrológica del acuífero responde a condiciones estacionales por efecto de las lluvias. Esta hipótesis se ve fortalecida por la información y los datos proporcionados por los mismos pobladores, los cuales señalan que los niveles del agua en la época de lluvia suelen presentarse en unos centímetros de profundidad, mientras que para la temporada de abril y mayo puede bajar hasta tres metros en algunas zonas de la planicie costera.

Se puede observar que existen variaciones estacionales promedio de 2.5 m, por lo que sería interesante realizar dos recorridos piezométricos anuales en la zona que conforma la planicie costera.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

La salinidad del agua es un índice representativo de la calidad del agua y se suele expresar en términos de su contenido de sólidos totales disueltos (STD). En la zona de Atoyac, la salinidad del agua subterránea varía entre 190 y poco más de 2000 ppm.

Los valores que presentan una salinidad mayor a 1000 ppm en la zona, se localizan en las inmediaciones de los centros de población, principalmente en la zona donde se localizan las comunidades de San Jerónimo y Olimpia, ubicados en la parte central del acuífero; así mismo se observan valores superiores a los 1200 ppm en la comunidad El Tamarindo y de 1375 ppm en las cercanías de la comunidad Llano de la Puerta, concentraciones que están relacionadas con las actividades antropogénicas.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo realizado en el año 2008, se registró un total de 230 aprovechamientos del agua subterránea, la mayor parte corresponden a norias de baja rendimiento que sólo operan unas horas al día.

Un gran porcentaje de los aprovechamientos no se encuentran equipados, solo presentan bombas sumergibles con diámetros de succión y descarga de entre 2 y 2 ½ pulgadas, su operación se reduce a las necesidades domésticas.

Del total de obras censadas para el año 2008; 45 son pozos y 185 norias, cuya clasificación por uso es la siguiente: 175 se destinan al uso agrícola (76 %), 14 más (6%) al abastecimiento de agua potable a los centros de población y los 41 restantes (18%) al uso doméstico-abrevadero.

En total el volumen de extracción asciende a **12.8 hm³ anuales**, de los cuales 9.0 se destinan al uso agrícola (70.3%), 3.1 hm³ (24.2%) más al abastecimiento de agua potable a los centros de población y los 0.7 hm³ restantes (5.5%) a satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo únicamente para el año 2008, en una superficie de **271 km²**, 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 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 masa se expresa como:

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

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

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

7.1 Entradas

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

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero.

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes únicamente se consideran los retornos agrícolas.

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 (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas por flujo horizontal

Ri: Recarga inducida por retornos agrícolas

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 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 tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, tenemos que:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

Sustituyendo en la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

Donde:

T = Transmisividad en m^2/s .

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico, en m.

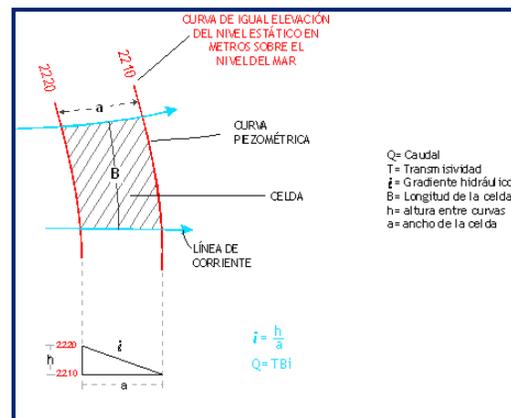


Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	5100	450	10	0.02222	0.0030	0.3400	10.7
E2	12860	2800	5	0.00179	0.0030	0.0689	2.2
TOTAL							12.9

Donde: T = transmisividad; i = gradiente hidráulico; B = ancho de flujo; Q = gasto.

Valores de T fueron obtenidos de pruebas de bombeo realizadas en el 2008 y de estudios anteriores, extrapolados para el espesor saturado en cada sitio. De la tabla anterior se observa que el valor de las entradas subterráneas asciende a **12.9 hm^3 anuales.**

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración que se producen por concepto de los excedentes del agua utilizada para el riego en las zonas agrícolas.

Aún en sistemas de riego eficientes, un cierto volumen del agua aplicada no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, de acuerdo con la literatura, esta contribución al acuífero varía entre el 10 y 20 % del volumen usado en la irrigación. En este sentido el volumen calculado del censo realizado para este estudio se obtuvo una extracción total de 12.8 hm³/año, de cual el 70% es utilizado en la agricultura, es decir 9.0 hm³/año. De esta manera, si consideramos un retorno del 10% se obtiene un volumen de **0.9 hm³/año** que se incorpora al acuífero como recarga inducida.

7.2 Salidas

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **12.8 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas por flujo subterráneo se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, utilizando la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008, aplicando la ley de Darcy a las secciones de salida, localizada al sur, como lo demuestran las curvas equipotenciales, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	10720	2000	2	0.00100	0.0040	0.0429	1.35
S2	8970	1250	2	0.00160	0.0030	0.0431	1.36
TOTAL							2.7

Por lo tanto, el valor de las salidas subterráneas es de **2.7 hm³**.

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del río.

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

La evapotranspiración tiene dos componentes: la evaporación directa del agua subterránea y la transpiración de las plantas que toman agua del subsuelo. La primera tiene lugar donde aflora la superficie freática, así como en las áreas adyacentes a ésta, donde se presentan niveles freáticos someros.

En el subsuelo, el agua puede ascender, a partir del nivel freático, hasta una altura ("la altura capilar") cuyo valor depende del tamaño de los poros o fisuras; en los materiales granulares esa altura es inversamente proporcional al tamaño de los granos, variando entre unos cuantos decímetros en las gravas, y cerca de tres metros en los materiales limo-arcillosos. Este mecanismo de descarga se presenta en la zona donde los niveles freáticos están a profundidades no mayores a 2 m.

A este respecto, de acuerdo con la Norma Oficial NOM-011-CONAGUA-2000, la descarga de agua subterránea por evapotranspiración, dada la dificultad de su cálculo, puede no ser estimará por separado y su valor quedará implícito en el resultado del balance.

No obstante, se estimó la evapotranspiración real por medio del método de L. Turc, investigador que realizó un análisis estadístico de más de 200 cuencas en diferentes regiones climáticas, concluyendo que la evapotranspiración real, ETR, está dada por la expresión:

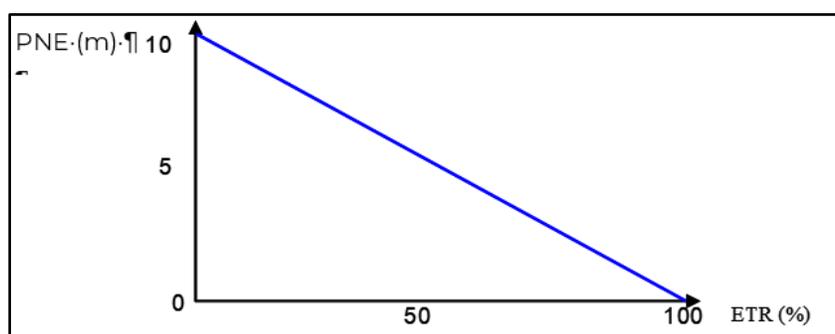
$ETR (mm) = \frac{P (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2 (mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	28.1		
P(mm) =	1017	P ² =	1034289
L =	2111.90205	L ² =	4460130.27
ETR (mm)	955.9		

Sustituyendo los valores: P = 1017 mm/año y T = 28.1° C en las expresiones anteriores, resulta:

L = 2111.9
ETR = 955.9 mm/año

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, 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 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 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.



El resultado de este proceso se presenta en la tabla 4, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **66.4 hm³ anuales**.

Tabla 4. Cálculo de la Evapotranspiración Real

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km ²)	LÁMINA ETR (m)	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXTINCIÓN DE LA ETR	% ETR	VOLUMEN ETR (hm ³ /año)
0 A 1	0.5	6.2	0.956	10.00000	0.9500	5.6
1 A 2	1.5	38	0.956	10.00000	0.8500	30.9
2 A 3	2.5	27	0.956	10.00000	0.7500	19.4
3 A 4	3.5	17	0.956	10.00000	0.6500	10.6
TOTAL		88.2				66.4

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 determinado.

Los escasos registros existentes están dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Adicionalmente, 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 se considera nulo; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia y por las infiltraciones a lo largo del cauce del río, mediante la expresión (2):

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

$$R_v = 2.7 + 12.8 + 66.4 + 0.0 - 12.9 - 0.9$$

$$R_v = 68.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 68.1 + 12.9 + 0.9$$

$$R = 81.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), 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 de **81.9 hm³** anuales

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Atoyac, su valor es de **34.9 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas hacia el mar que se deben dejar escapar para mantener el equilibrio de la interfase marina y el 50% de la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema costero.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **15,834,312 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas. Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 81.9 - 34.9 - 15.834312 \\ \text{DMA} &= 31.165688 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **31,165,688 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor, sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2008. "Actualización Geohidrológica de los Acuíferos Atoyac y Chilpancingo, Guerrero". Realizado por la empresa GEOPSA, S. A. de C.V.