



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO BAHÍA DE ACAPULCO (1226)
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	4
3	FISIOGRAFÍA.....	6
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía.....	7
3.4	Geomorfología.....	8
4	GEOLOGÍA.....	8
4.1	Estratigrafía.....	9
4.2	Geología estructural.....	11
4.3	Geología del subsuelo.....	11
5	HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1	Tipo de acuífero.....	12
5.2	Parámetros hidráulicos.....	13
5.3	Piezometría.....	14
5.4	Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	14
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	16
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	18
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1	Entradas.....	19
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2	Entradas subterráneas horizontales (Eh).....	19
7.2	Salidas.....	20
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	20
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	21
7.2.3	Evapotranspiración (ETR).....	21
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔV_S).....	22
8	DISPONIBILIDAD	22
8.1	Recarga total media anual (R).....	23
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	23
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	23
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	24
9	BIBLIOGRAFÍA	25

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 Bahía de Acapulco, definido con la clave 1226 por la Comisión Nacional del Agua, abarca una superficie de tan solo **36 km²** de extremo sur del estado de Guerrero, el acuífero se localiza entre el Océano Pacífico y la Sierra Madre del Sur, en la región limítrofe entre la Costa Grande y la Costa Chica de Guerrero (Figura 1). La zona de estudio se encuentra delimitada por los paralelos 16° 49' y 16° 51' de latitud norte y los meridianos 99° 51' y 99° 54' de longitud oeste. Colinda al norte y este con el acuífero La Sabana, al oeste con el acuífero Conchero y al sur con el Océano Pacífico. El acuífero se localiza totalmente dentro del municipio de Acapulco de Juárez, destacando en él la cabecera municipal Acapulco y las poblaciones Tres Palos y Pie de la Cuesta.



Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1 Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	53	5.4	16	51	30.3	
2	99	53	29.4	16	52	43.0	
3	99	52	38.8	16	53	18.0	
4	99	51	0.0	16	52	21.5	
5	99	50	5.5	16	52	19.7	
6	99	49	45.7	16	51	20.4	
7	99	49	55.2	16	49	43.9	
8	99	49	34.9	16	48	31.1	
9	99	50	18.4	16	47	1.9	DEL 9 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	99	53	5.4	16	51	30.3	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur y se encuentra sujeto a la disposición del decreto de veda, tipo II, “Municipios de Acapulco, Coyuca de Benítez, Juan R. Escudero, San Marcos, Mochitlán y Chilpancingo”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de febrero de 1975. De acuerdo con el, sólo se permiten extracciones para usos prioritarios “únicamente en los casos en que de los estudios relativos se concluya que no se causarán los perjuicios que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse” y establece que, “excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del decreto nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin contar con la autorización” de la Autoridad del Agua.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. Tanto la zona turística del puerto de Acapulco como la población urbana tienen como fuente principal de abastecimiento de agua potable y para servicios los pozos radiales localizados en las márgenes del Río Papagayo, localizado en el acuífero Papagayo, así como una toma directa de este río. El principal usuario del agua subterránea es el organismo operador de agua potable del municipio: Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco (CAPAMA). En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios hidrogeológicos con el fin de evaluar el potencial tanto para abastecimiento de agua potable a los centros urbanos como para los servicios de la zona turística. A continuación mencionan los más relevantes y sus principales conclusiones.

“Estudio de Actualización Geohidrológica En la Cuenca del Río La Sabana, en Acapulco, Gro.”. 1983. realizado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S. A. Consultores para la SARH. En este estudio se definen las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas que rigen el funcionamiento hidrodinámico del acuífero localizado en el acuífero La Sabana, con el propósito de determinar las variaciones temporales de la recarga y analizar la posibilidad de extraer un caudal mínimo de 500 lps para el abastecimiento del Puerto de Acapulco.

Se lleva a cabo un análisis de la situación actual de la batería de pozos y se propone un programa de rehabilitación, reposición y operación de pozos para la extracción de 480 lps que garantizaban el abastecimiento de la población y la zona turística. Como parte de sus recomendaciones se propone un programa bimestral de piezometría de los pozos y muestreo de aguas, tanto subterráneas como del Río la Sabana, con el propósito de contar con un registro de la evolución de la cantidad y calidad del agua. El valor de la recarga media anual que el acuífero fue calculada en 7.8 hm^3 .

“Definición de Fuentes de Abastecimiento y Anteproyecto para el Puerto de Acapulco.”. 1987. Realizado por Ingeniería y Procesamiento Electrónico, S. A. de C. V. para la SARH Se analiza el problema de abastecimiento y se definen alternativas de solución. Se concluye que el Río Coyuca tiene el potencial para el suministro de agua potable, pero para garantizar plenamente el gasto de diseño sería necesaria la construcción de una presa de almacenamiento. Esta alternativa tiene la gran desventaja de no contar con infraestructura.

Por otra parte, se dice que la solución al problema de azolves en la obra de toma directa del Río Papagayo, se resolvería con la construcción de galerías filtrantes que captarían un volumen de diseño de $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta es la opción que se elige y se elabora el anteproyecto para construcción y funcionamiento.

“Estudio geohidrológico del Valle de la Sabana-La Zanja, Punta Diamante, Municipio de Acapulco, Guerrero.”. 1999. Realizado por Ingeniería y Procesamiento Electrónico, S.A de C. V. para la CNA En este estudio se define la actualización de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas que rigen el funcionamiento hidrodinámico del acuífero, determinando sus características de recarga y descarga, así como su capacidad de almacenamiento. Contempla actividades de geofísica, muestreo de agua, censo de aprovechamiento, piezometría y pruebas de bombeo

“Evaluación Hidrogeológica del Acuífero La Sabana, Guerrero.” 2003. Realizado por la empresa proyectos Antares, S.A. de C.V. para la CNA. El estudio concluye que no existe cambio de almacenamiento en el acuífero, por lo que las entradas son de la misma magnitud que las salidas. Se estima que la recarga total media anual que recibe el acuífero es de 92 hm^3 , con un bombeo del orden de los 28 hm^3 . La disponibilidad calculada es de 64 hm^3 anuales.

Entre sus recomendaciones principales destaca las campañas de cloración y de toma de muestras para análisis de las aguas subterráneas; completar el censo de aprovechamientos; realizar sondeos eléctricos verticales y el diseño de una red de monitoreo para la medición de los niveles del agua subterránea.

“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 CNA. 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, si es necesario tener control de las extracciones.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El área de estudio se localiza dentro de la provincia fisiográfica denominada “Sierra Madre del Sur” (Raisz, 1964), la cual comprende desde el estado de Nayarit hasta el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca y constituye una región de enorme complejidad estructural debido a la presencia de varios dominios tectónicos yuxtapuestos. Su segmento más septentrional está constituido por afloramientos de secuencias mesozoicas, tanto sedimentarias de plataforma como volcánico-sedimentarias de tipo arco insular. Limita al norte con la cadena montañosa de origen volcánico conocida como Eje Neovolcánico, al oriente con la subprovincia de la Plataforma Cretácica de Morelos y Guerrero. De manera particular, la zona en donde se ubica el acuífero Bahía de Acapulco pertenece a las subprovincias de la Vertiente Meridional y Planicie Costera del Pacífico.

La región pacífica de la Sierra Madre del Sur, correspondiente al norte del estado de Guerrero, presenta afloramientos extensos de rocas volcánicas andesíticas interestratificadas con capas rojas de limonita, conglomerado volcánico y capas de caliza arrecifal, rocas metamórficas del Paleozoico, así como rocas intrusivas de composición granítica. Es posible distinguir tres zonas fisiográficas:

La primera se localiza al norte de la Bahía y corresponde con la zona montañosa constituida por rocas metamórficas; al sur esta zona se encuentra la depresión granítica que forma propiamente que junto con otros pequeños valles han sido rellenados por los productos de la erosión de las rocas graníticas y por las principales corrientes aluviales de la bahía. La tercera zona corresponde con los depósitos de barra que forman las lagunas de Coyuca o Pie de la Cuesta y la Laguna de Nahuala o de Tres Palos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificados por E. García (1964), el clima imperante dentro del área de estudio varía desde cálido subhúmedo en la planicie costera Awo (w), hasta subhúmedo semicálido en las partes altas de la cuenca. Esta clasificación se basa en que la temperatura media anual del mes más frío es mayor de 18° C, con lluvias en verano y oscilación de temperatura menor de 5 °C, siendo junio el mes más cálido. El análisis climatológico se basó en la información recabada de 8 estaciones con registro común para el periodo 1980-1990: La Parota, Acapulco, Kilómetro 21, Palma Sola 1, La Laja, Costa Azul, La Garita y Hogar Moderno.

La precipitación pluvial presenta su temporada principal de lluvias en verano, extendiéndose hasta el otoño (mayo-octubre). Los valores varían de 1,020 a 1,430 mm, con una media anual de 1213 mm. La temperatura media mensual varía entre los 21 y 33 °C, siendo junio el mes más caluroso, en tanto que los valores medios anuales varían entre los **22 y 26 °C**, con valores extremos de 22 y 33 °C.

El valor de la evaporación potencial varía de los 1,300 a 2,100 mm anuales, con una media anual de **1,766 mm** mayor que la precipitación, excepto para los meses de junio a septiembre cuando se registran los valores más altos de lluvia.

3.3 Hidrografía

El área de estudio, sobre la cual se vierten las aguas del río La Sabana, pertenece a la Región Hidrológica No. 19 denominada Costa Grande de Guerrero, cuenca "A" Río Atoyac y Otros, subcuenca del Río La Sabana. Dicha cuenca abarca a todos los ríos comprendidos entre la desembocadura del Río Balsas y hasta el límite con la cuenca "A" Río Atoyac y otros, en el estado de Guerrero. En esta cuenca los escurrimientos más importantes tienen su origen en las partes altas de la Sierra Madre del Sur; entre ellos se encuentran los ríos La Sabana, Papagayo, Atoyac, Tecpan, San Luis y Coyuca.

En la región de Acapulco los principales elementos hidrográficos que la rodean son los ríos La Sabana y Papagayo, y las lagunas de Coyuca y de Tres Palos. Sin embargo, en la zona de la Bahía no existen elementos hidrográficos importantes; ya que sólo existen escorrentías intermitentes a lo largo de las rocas graníticas que generalmente son captadas por el sistema de drenaje de la ciudad. Salvo los pozos radiales que abastecen al complejo turístico de Acapulco y a la zona urbana de la bahía, así como el acueducto que conduce el agua extraída, no existe infraestructura hidráulica de mayor importancia en la zona.

3.4 Geomorfología

La cuenca en donde se ubica el acuífero Bahía de Acapulco presenta una orientación NW-SE, paralela a la costa, con elevaciones máximas del orden de 400 a 600 msnm en las sierras de que la delimitan. Presenta sierras abruptas y de morfología irregular, constituidas por rocas ígneas de composición granítica y granodiorítica.

El relieve es juvenil y sumamente accidentado debido a que la región se encuentra en continuo rejuvenecimiento por la intensa actividad derivada de los movimientos tectónicos recientes y constantes. La red fluvial está bien integrada y es de tipo dendrítico, cuyos escurrimientos principales desembocan al mar. La erosión hídrica es muy visible en la región, especialmente debido al oleaje que da origen a los acantilados y depresiones colmatadas que motivan pequeñas playas y valles.

4 GEOLOGÍA

La geología general del área de estudio está conformada por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, con registro estratigráfico que va desde el Precámbrico hasta el Reciente, predominando las rocas ígneas intrusivas de composición granítica. La geología del estado de Guerrero es muy compleja, ya que la entidad se encuentra dividida en diferentes terrenos tectonoestratigráficos, con estratigrafías variadas, pertenecientes a cuencas de depósito, unidades corticales y oceánicas de tamaño, litología, deformación y edad variables (Figura 2).

Además, debido a que esta región está situada en el borde suroccidental de la placa Norteamericana, donde en la región de la fosa de Acapulco, se sumerge y sumergieron placas oceánicas, se han formado durante su historia geológica depósitos relacionados con arcos insulares y mares marginales, dando origen a varios tipos de depósitos vulcanosedimentarios y sedimentos marinos y continentales (terrenos Guerrero, Oaxaca, Tehuantepec y otros).

Con excepción de los materiales del granulares que rellenan la bahía, y la porción alterada de las rocas graníticas, las demás unidades litológicas que afloran en el área se consideran impermeables para fines hidrogeológicos

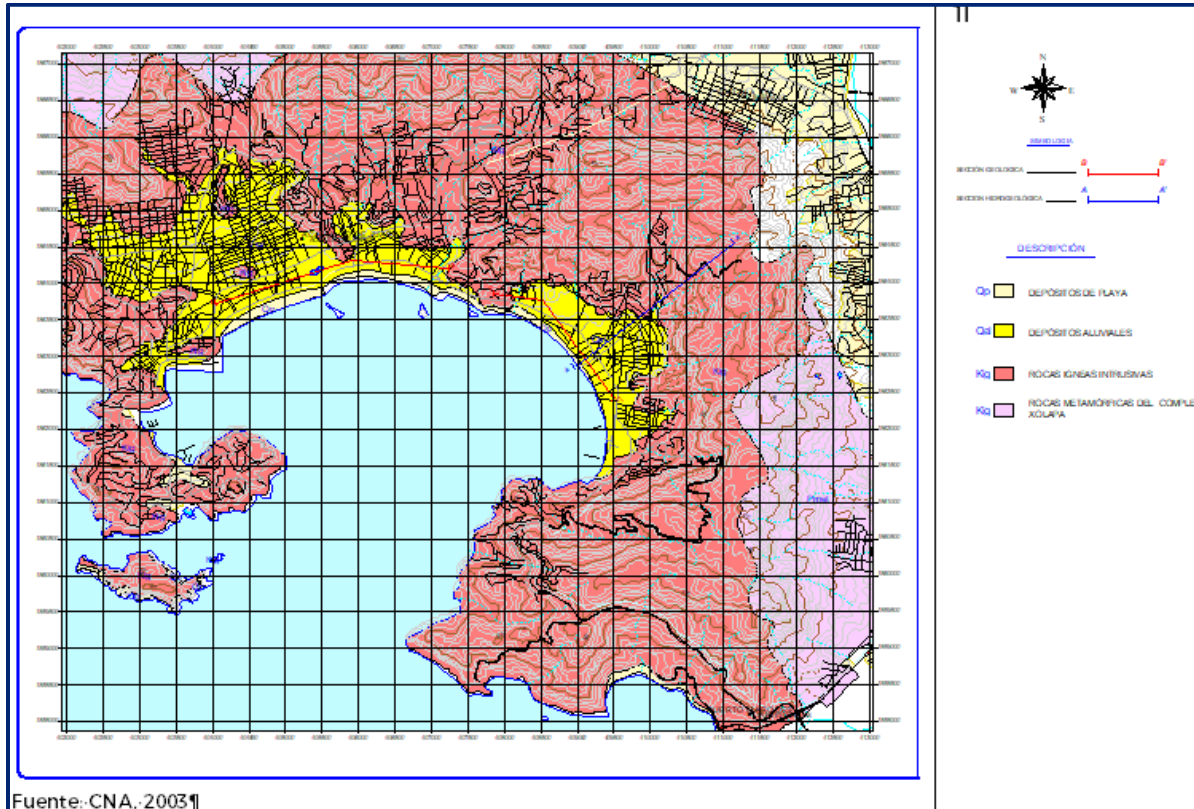


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Precámbrico al Reciente y está conformado por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. A continuación, se describe la columna estratigráfica local, de la unidad más antigua a la más reciente.

Rocas Metamórficas Precámbricas (Pmet)

Esta unidad es un complejo de rocas metamórficas representado cuya edad ha sido motivo de discusión. Para algunos autores pertenece al Precámbrico (Fernando Ortega et al. 1976) y para otros al Paleozoico (Zoltán De Cserna, 1965, G. Tolson, 1997), quienes las asocian al Complejo Xolapa. Este complejo metamórfico se presenta formando una banda de 50 a 100 km de ancho en los estados de Guerrero y Oaxaca, con características de estar afectado por intrusiones de numerosos plutones graníticos paleogenéticos. Consta de dos grandes grupos de rocas de distinta edad.

La más antigua está constituida por paragneises, esquistos pelíticos, esquistos de biotita y cuarcita, cuyos protolitos sedimentarios son interpretados como interestratificaciones de grauwacas, rocas pelíticas y carbonatos.

Su edad se considera que es de 1000 a 1,300 Ma. 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 Ma.

Estas rocas afloran en la parte norte de la Bahía de Acapulco formando la zona montañosa que rodea a la Bahía de Acapulco. Por su constitución litológica y por tratarse de una roca consolidada esta unidad se considera impermeable, ya que funciona como una barrera natural para el flujo del agua subterránea.

Rocas ígneas intrusivas (Kig)

A este grupo pertenecen las rocas ígneas intrusivas emplazadas después de la acreción del complejo Xolapa, como producto del magnetismo que formó el batolito de Acapulco. Se caracteriza por presentar una serie de cuerpos intrusivos de composición granítica, granodiorítica y diorítica, cuyas edades se han calculado en el periodo Eoceno (43-48 Ma).

Presenta sistemas de fracturamiento que al penetrar a profundidad puede llegar a separarlas en bloques individuales. Se encuentran aflorando al norte de la bahía y al estar inclinado hacia el sur formó la depresión en la que actualmente se aloja la ciudad de Acapulco. Al presentarse alterada y fracturada en la porción superior, se ha visto que es capaz de almacenar pequeñas cantidades de agua y transmitir las hacia los depósitos granulares que constituyen la planicie costera.

Depósitos Aluviales (Qal)

Esta unidad aflora ampliamente en la zona de menor elevación de la cuenca, cubriendo a las rocas metamórficas del Complejo Xolapa y a las rocas ígneas intrusivas, de las cuales se originan. Están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas, formadas como producto de la erosión de la secuencia metamórfica y granítica descrita previamente.

Están constituidos por depósitos de arenas, cuando se originan de la desintegración de las rocas graníticas, y de limos y arcillas cuando proceden de la erosión de rocas metamórficas. Los depósitos derivados de las rocas ígneas tienen una mayor distribución en el área de la Bahía de Acapulco; estos se encuentran en las partes protegidas de los valles principales y en la región costera y en las desembocaduras de ríos y arroyos pequeños que descienden de las partes altas; mientras que los depósitos derivados de las rocas metamórficas se limitan a la región de la laguna de Tres Palos. Por su constitución, buena porosidad y permeabilidad, se considera a esta unidad como la principal unidad acuífera de la bahía.

Depósitos de playa (Qp)

Corresponden con los sedimentos depositados por la acción del viento y las olas marinas que forman los depósitos de barra adyacentes a las lagunas de Pie de la Cuesta y de Tres Palos.

También se incluyen dentro de esta unidad a los depósitos de playa. Por su buena porosidad y permeabilidad, se consideran de interés hidrogeológico ya que son capaces de almacenar y transmitir el agua subterránea.

4.2 Geología estructural

La geología estructural está influenciada por la complejidad tectónica que presenta la zona. La sobreposición de diferentes dominios tectónicos hace posible el contacto, por falla o en discordancia, de diferentes unidades litoestratigráficas que generalmente funcionan como barreras al flujo subterráneo y que le imprimen un particular rasgo a toda esta región del sur del país.

Como resultado de los procesos geológicos que han conformado la secuencia litológica en la zona de interés, a 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 en la cuenca.

4.3 Geología del subsuelo

No existe información derivada de estudios geofísicos realizados en el área de interés. Sin embargo, los cortes litológicos de los pozos y los registros eléctricos realizados previamente en los acuíferos aledaños de La Sabana, Ixtapa y Coacoyul.

Con características geológicas y climáticas semejantes, permiten definir que el acuífero se encuentra alojado en los sedimentos fluviales que constituyen los sedimentos aluviales de la bahía, su espesor varía de algunos metros en las estribaciones de la sierra, hasta algunas decenas de metros, en la planicie costera.

Dependiendo de la naturaleza de los materiales o rocas con los que se encuentra en contacto, hacia la parte alta de la cuenca los límites lateral e inferior del acuífero están constituidos por las rocas graníticas que constituyen el basamento y las barreras al flujo subterráneo.

En la figura 3 se muestra la sección geológica esquemática longitud A-A' marcada en el plano geológico, y en ella se muestra el funcionamiento hidrogeológico del acuífero.

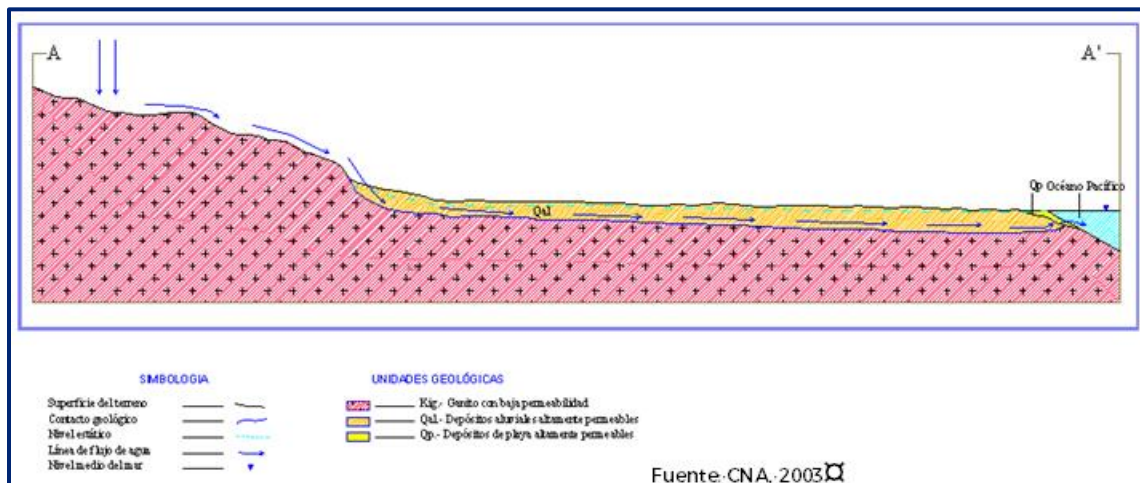


Figura 3. Sección geológica esquemática

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre, permeabilidad media a alta, alojado en los sedimentos fluviales que rellenan la bahía, de reducidas dimensiones y poca capacidad de almacenamiento, que tiene como principal fuente de recarga a los escurrimientos superficiales que se producen durante la temporada de lluvias.

Su espesor varía desde algunos metros, en las estribaciones de los piedemonte, hasta algunas decenas de metros en la planicie costera y tiene como basamento y fronteras laterales al flujo subterráneo a las rocas graníticas.

Este es el acuífero en explotación en la bahía; aunque se importa agua del acuífero La Sabana para el abastecimiento público-urbano, existen muchos hoteles que cuentan con norias para complementar su abastecimiento.

Actualmente, el volumen que aporta este acuífero es insuficiente para satisfacer la demanda sin ocasionar la migración de agua de mala calidad, por lo que, adicional al agua que se importa del acuífero La Sabana, se buscan otras fuentes que garanticen el abastecimiento de la población y la zona turística de Acapulco.

5.2 Parámetros hidráulicos.

No se cuenta con información de pruebas de bombeo realizadas en los aprovechamientos localizados dentro del acuífero. Sin embargo, los valores obtenidos en los acuíferos vecinos La Sabana, Pantla, Ixtapa y Coacoyul, pueden extrapolarse con sentido hidrogeológico a éste dado que los materiales geológicos que los constituyen tienen el mismo origen y evolución.

La geología general del área de estudio es la misma y los procesos exógenos y endógenos que han controlado la depositación de los materiales granulares son comunes a toda esta región del estado y del sur del país.

En estudios previos se han más de 40 pruebas de bombeo diseminadas en los cuatro acuíferos aledaños mencionados, tanto en pozos como en norias.

La duración de las pruebas depende del tipo de aprovechamiento y varió de 4 a 12 hr, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

Los resultados de su interpretación reportan valores de transmisividad varían de 0.47 a $130 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, dependiendo de la granulometría de los depósitos donde se alojan los aprovechamientos, con un valor medio entre **$2 \text{ y } 10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** .

En cuanto a la conductividad hidráulica, se reportan valores que oscilan entre 0.12 y $9.12 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, con un valor promedio de **$3.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$** .

No existen datos del coeficiente de almacenamiento dado que ninguna de las pruebas de bombeo reportadas contó con pozo de observación.

Los valores de 6.5×10^{-4} reportados en el estudio de 1979 en el Valle de La Salitrera (acuífero Ixtapa) y 4.6×10^{-5} en el estudio de 1990 en el acuífero Coacoyul corresponden a una noria de 5 metros de profundidad alojada en sedimentos limo-arcillosos y a un pozo perforado en los materiales arcillosos producto de la alteración de los granitos, respectivamente, por lo que no representan el acuífero principal.

5.3 Piezometría.

Existe información piezométrica recabada recientemente por la Gerencia Estatal en Guerrero, como parte de la reactivación de la red piezométrica del acuífero.

Esta comprende la información recabada durante el estudio realizado por Consultoría Betsco, S.A. de C.V. (2003) y la piezometría obtenida en diciembre de 2002 y noviembre 2004 por la Gerencia Estatal, que, aunque no fue recabada durante la temporada de estiaje, corresponde a los meses de noviembre y diciembre, cuando ya dicha temporada tiene su inicio.

Las configuraciones del nivel estático no presentan alteraciones importantes en los años analizados, razón por la cual sólo se describirá la correspondiente al 2004.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático varía estacionalmente mostrando rápida respuesta a la recarga por infiltración de lluvias.

De esta manera, de acuerdo con el mes en que se tomen las lecturas, se hará evidente que los niveles estén influenciados por la recuperación de la temporada de lluvias o el abatimiento durante el estiaje. Al comparar lecturas realizadas en diferentes años para el mismo mes, o muy próximos entre sí, es notorio que los niveles no registran cambios importantes en su posición.

Por ello sólo describiremos la piezometría más reciente que corresponde a noviembre de 2004. La profundidad al nivel estático para esta fecha muestra valores que oscilan entre 1 y 4 m, con los valores más someros hacia la línea de costa y los más altos hacia las laderas, influenciados por la topografía de la zona (Figura 4)

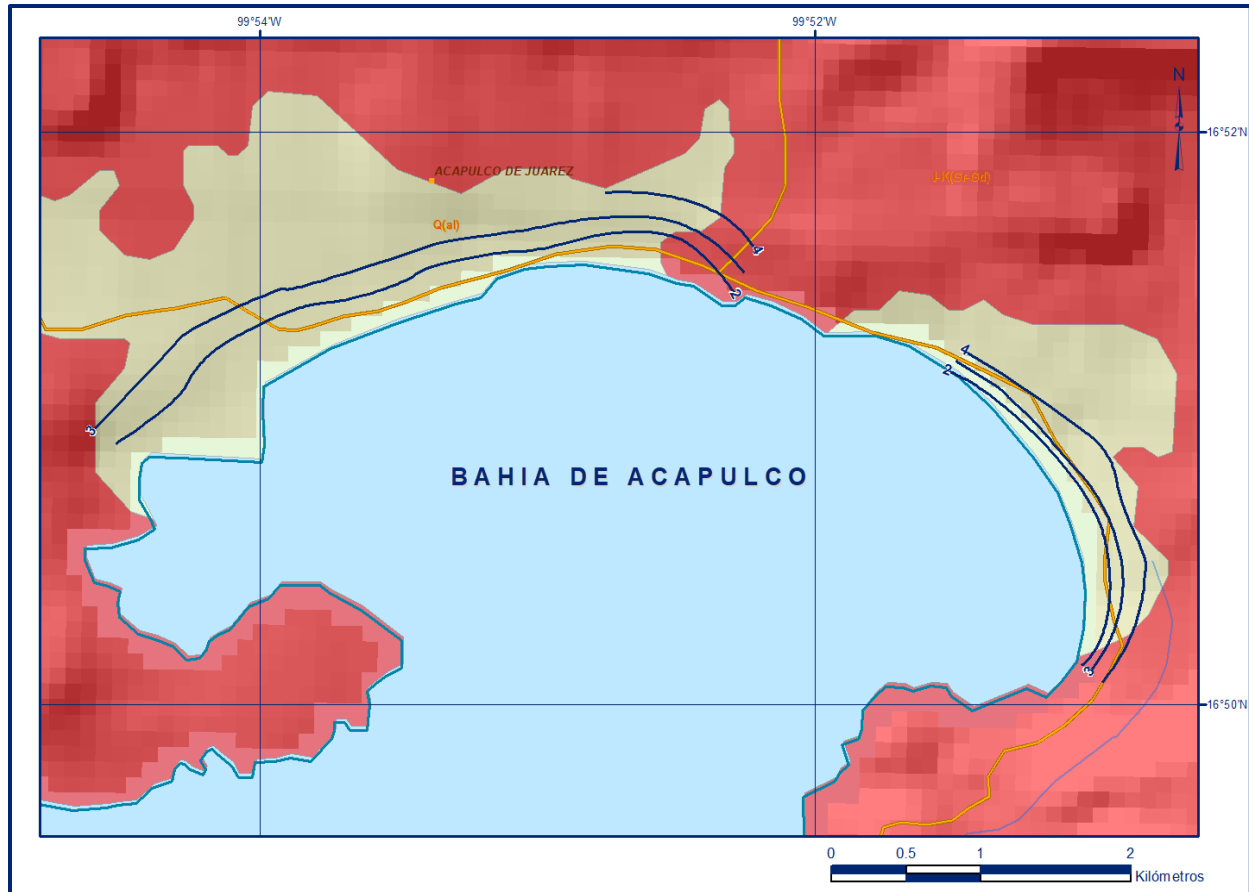


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (noviembre 2004)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para noviembre de 2004 presenta elevaciones que oscilan entre los 2 y 14 msnm en la mayor parte de la bahía, con valores máximos entre los 18 y 25 m.s.n.m. en su porción occidental.

Los valores mínimos son de 2 a 3 m.s.n.m. y pertenecen a los aprovechamientos localizados más cercanos a la costa (Figura 5). Los gradientes hidráulicos varían de 0.008 a 0.06.

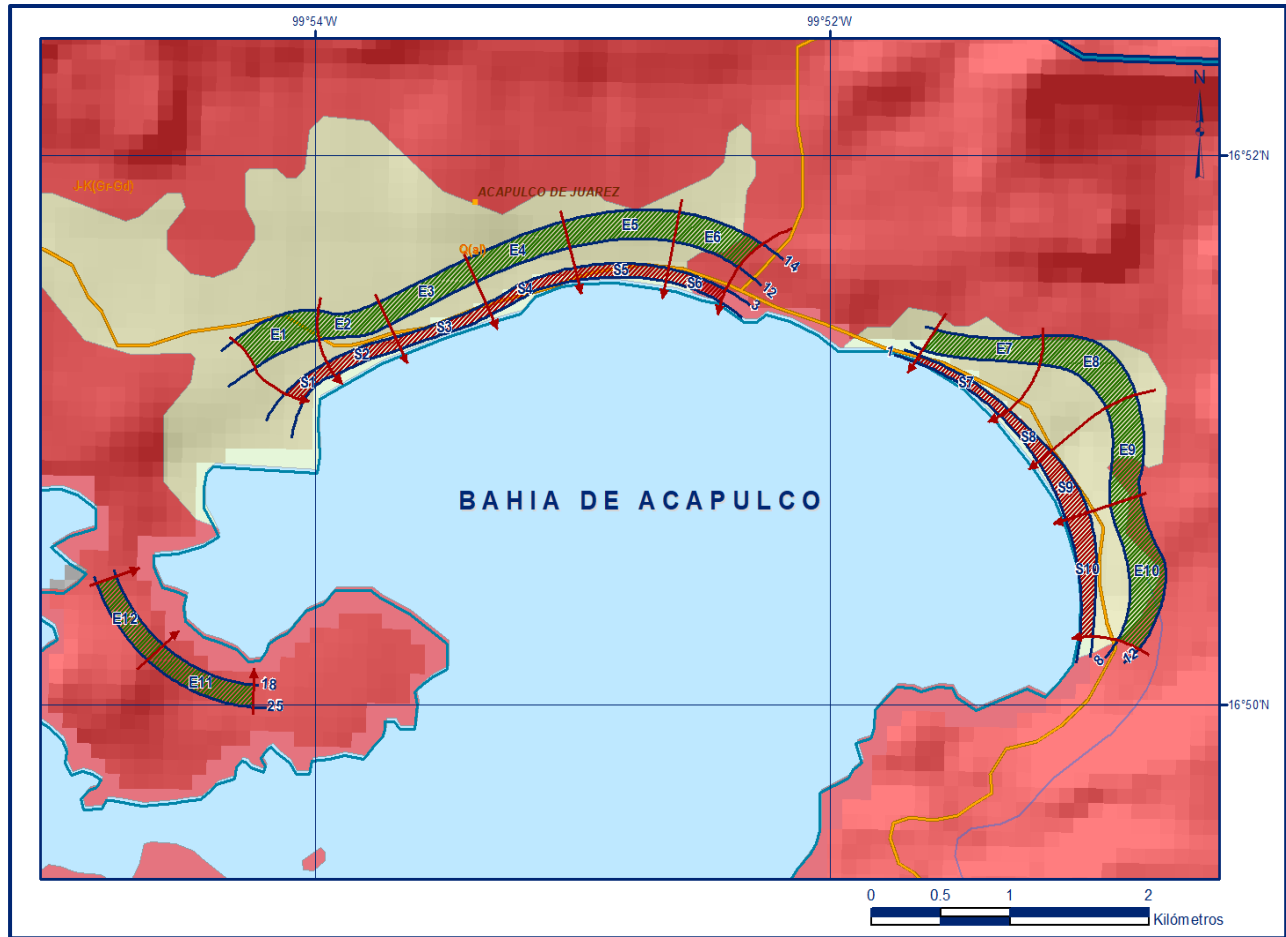


Figura 5. Elevación del nivel estático en m.s.n.m. (noviembre 2004)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de la evolución del nivel estático para el periodo diciembre de 2002 a noviembre de 2004 no registra cambios importantes debido a que corresponden al inicio de la temporada de estiaje, cuando los niveles se han recuperado como consecuencia de la recarga por lluvia (figura 6).

Para este tipo de acuíferos es importante comparar mediciones piezométricas realizadas para las mismas fechas, ya que de lo contrario se pueden hacer interpretaciones falsas que no reflejan el funcionamiento real del acuífero para una misma temporada, ya sea la de lluvias o el estiaje.

El comportamiento de los niveles muestra abatimientos importantes durante la época de estiaje, que al producirse las lluvias se recuperan rápidamente.

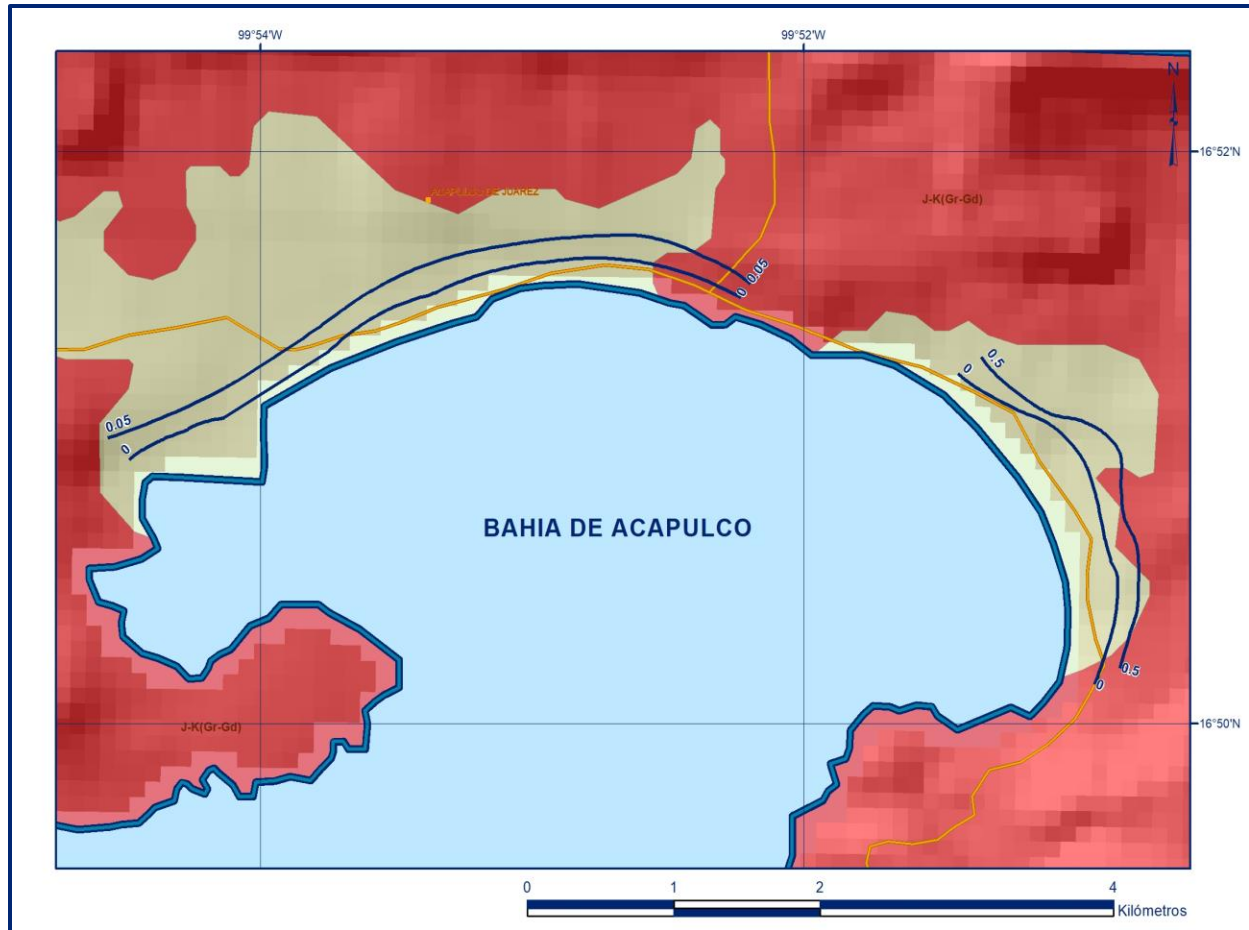


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2002-2004)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las muestras de agua subterránea que se han tomado tanto por el organismo operador como por la CONAGUA en su red piloto indican que, de manera general, la calidad química del agua es apta para todo uso.

Las concentraciones de sólidos totales disueltos no superan las 600 partes por millón (ppm), muy por debajo de las 1,000 ppm que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. La familia de agua subterránea predominante es la Bicarbonatada-Cálcica que representa agua de reciente infiltración. Valores de salinidad superiores a las 1,000 ppm se pueden registrar en algunos aprovechamientos localizados en la zona próxima a la costa.

Aunque el agua se destina al abastecimiento público-urbano, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad baja (C1) a media (C2) y contenido bajo de sodio (S1), características que no imponen restricción alguna ni para el riego de los cultivos ni para los suelos de la región.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

No se cuenta con información actualizada respecto al número de aprovechamientos localizados en el área de estudio. De acuerdo con cifras de la Gerencia Estatal en Guerrero (2005), existen dentro del acuífero un total de 35 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 5 son pozos y 30 norias; que en conjunto extraen un volumen total del orden de los **1.0 hm³**, destinados exclusivamente al uso de servicios, principalmente de la zona hotelera.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

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 una unidad hidrogeológica:

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

Considerando que la información previa disponible no permite plantear un balance para un periodo de tiempo mayor que corresponda a la misma temporada del ciclo climatológico, se decidió plantear el balance para el periodo diciembre del 2002 a noviembre del 2004. El área de balance definida es de tan solo 4 km² que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza los aprovechamientos.

7.1 Entradas

La recarga total (R) al acuífero Bahía de Acapulco está integrada básicamente por las entradas subterráneas (Eh) y la recarga vertical por lluvia (Rv) que se infiltra en las zonas no cubiertas por la capa impermeabilizante de la zona urbana.

Recarga natural

Esta recarga está constituida por recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta a través de las zonas de pie de monte y por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle.

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.

$$Eh + Rv - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(S) \text{ ----- (1)}$$

De esta manera:

$$Rv = Sh + B + ETR - \Delta V(S) - Eh \text{ ----- (2)}$$

7.1.2 Entradas subterráneas horizontales (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente llegar a recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que fluyen hacia el mar.

Para su cálculo se utilizó la configuración de las curvas de igual elevación del nivel estático correspondiente al noviembre de 2004, mostrada en la figura 5. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el total de 2.4 hm³/año (Millones de metros cúbicos anuales).

$$Q = B * i * T$$

Donde

B: Ancho (m) del canal de flujo

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

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

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron obtenidos mediante correlación hidrogeológica de los calculados en el estudio "Actualización del Estudio Geohidrológico de la Zona Coacoyul-San Miguelito, estado de Guerrero", considerando un espesor de 10 m para la zona alterada de los granitos y para los depósitos granulares, K igual a 1 y 10 m/día, respectivamente.

Tabla 2 Entradas subterráneas por flujo horizontal

CANAL	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	$h_2 - h_1$ (m)	i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	550	240	2	0.0083	0.00116	0.0053	0.2
E2	450	200	2	0.1000	0.00116	0.0052	0.2
E3	600	200	2	0.1000	0.00116	0.0070	0.2
E4	750	200	2	0.1000	0.00116	0.0087	0.3
E5	700	230	2	0.0087	0.00116	0.0071	0.2
E6	550	250	2	0.0080	0.00116	0.0051	0.2
E7	800	120	4	0.0333	0.000116	0.0031	0.1
E8	650	260	4	0.0154	0.00116	0.0116	0.4
E9	700	230	4	0.0174	0.00116	0.0141	0.4
E10	1000	200	4	0.0200	0.00116	0.0232	0.7
E11	650	120	7	0.0583	0.000116	0.0044	0.1
E12	750	150	7	0.0467	0.000116	0.0041	0.1
Total entradas							3.1

7.2 Salidas

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.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

La extracción de agua subterránea en el área de estudio ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de **1.0 $hm^3/año$** (Millones de metros cúbicos anuales), destinado exclusivamente al uso de servicios.

Salidas subterráneas (Sh)

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del NE presentado en la figura 5. El Valor estimado es de **2.3 hm³ /año** (Millones de metros cúbicos anuales), tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Salidas subterráneas por flujo horizontal

CANAL	LONGITUD L (m)	ANCHO B (m)	h_2-h_1 (m)	i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	380	100	1	0.0100	0.00116	0.0044	0.1
S2	480	100	1	0.0100	0.00116	0.0056	0.2
S3	600	60	1	0.0125	0.00116	0.0087	0.4
S4	700	80	1	0.0125	0.00116	0.0102	0.3
S5	580	100	1	0.0100	0.00116	0.0067	0.2
S6	400	100	1	0.0100	0.00116	0.0046	0.1
S7	750	60	1	0.0125	0.00116	0.0109	0.4
S8	400	100	1	0.0100	0.00116	0.0046	0.1
S9	460	120	1	0.0083	0.00116	0.0044	0.1
S10	850	80	1	0.0125	0.00116	0.0123	0.4
Total salidas							2.3

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). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración

Aunque en toda el área de balance los niveles estáticos son inferiores a 10 m de profundidad, definido como el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, se encuentra cubierta por la capa impermeable de la zona urbana. Por tal motivo se considera que no existe la posibilidad de que se descargue agua subterránea de los niveles freáticos someros. **ETR = 0.**

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

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la evolución del nivel estático registrada para el periodo diciembre del 2002 a noviembre del 2004 y considerando un coeficiente de almacenamiento $S= 0.1$; el valor obtenido tiende a ser nulo debido a que el trazo de las curvas de igual evolución está apoyado en valores puntuales negativos.

Además, como ya se ha explicado anteriormente, el cambio de almacenamiento varía estacionalmente en respuesta a la recarga por infiltración de la lluvia. En la época de estiaje se abaten los niveles para después recuperarse rápidamente una vez iniciada la temporada de lluvias.

Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero; es decir, $\Delta V(S) = 0$.

Solución 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):

$$R_v = S_h + B + ETR - \Delta V(S) - E_h \text{ ----- (2)}$$

$$R_v = 2.3 + 1.0 + 0.0 - 0.0 - 3.1$$

$$R_v = 0.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

De esta manera la recarga total media anual:

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 3.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

- DMA** = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R = Recarga total media anual
DNC = Descarga natural comprometida
VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual 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 **3.3 hm³/año**.

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; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del acuífero Bahía de Acapulco, el valor es de **2.3 hm³/año**, correspondientes a las salidas subterráneas hacia el mar que se deben dejar escapar para mantener el equilibrio de la interfase marina.

RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Por lo tanto, para el caso del acuífero Bahía de Acapulco el rendimiento permanente es **1.0 hm³/año**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **3,575,047 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 3.3 - 2.3 - 3.575047 \\ \text{DMA} &= -2.575047 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,575,047 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) " Estudio de Actualización Geohidrológica en la Cuenca del Río La Sabana, en Acapulco, Gro". Realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Consultores, S. A. de C.V. (1983).