

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO BAHÍA DE ZIHUATANEJO (1216)
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.....	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.....	12
5	HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1	Tipo de acuífero.....	13
5.2	Parámetros hidráulicos.....	14
5.3	Piezometría.....	14
5.4	Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1	Profundidad al nivel estático (2004).....	15
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	16
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	17
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1	Entradas.....	18
7.1.1	Recarga natural (Rn).....	18
7.1.2	Recarga vertical (Rv).....	18
7.1.3	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).....	20
7.2.3	Evapotranspiración (ETR).....	20
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	21
8	DISPONIBILIDAD.....	21
8.1	Recarga total media anual (R).....	22
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	22
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	22
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
9	BIBLIOGRAFÍA.....	24

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 Zihuatanejo definido con la clave 1216 por la Comisión Nacional del Agua, abarca una superficie de tan solo 21 km² de la porción noroccidental del estado de Guerrero, el acuífero se localiza entre el Océano Pacífico y la Sierra Madre del Sur, en la región conocida como Costa Grande de Guerrero. La zona se encuentra delimitada por los paralelos 17° 37' y 17° 40' de latitud norte y los meridianos 101° 33' y 101° 36' de longitud oeste. Colinda al norte con los acuíferos Coacoyul e Ixtapa, al oriente con Coacoyul, al sur y al occidente con el Océano Pacífico (Figura 1).

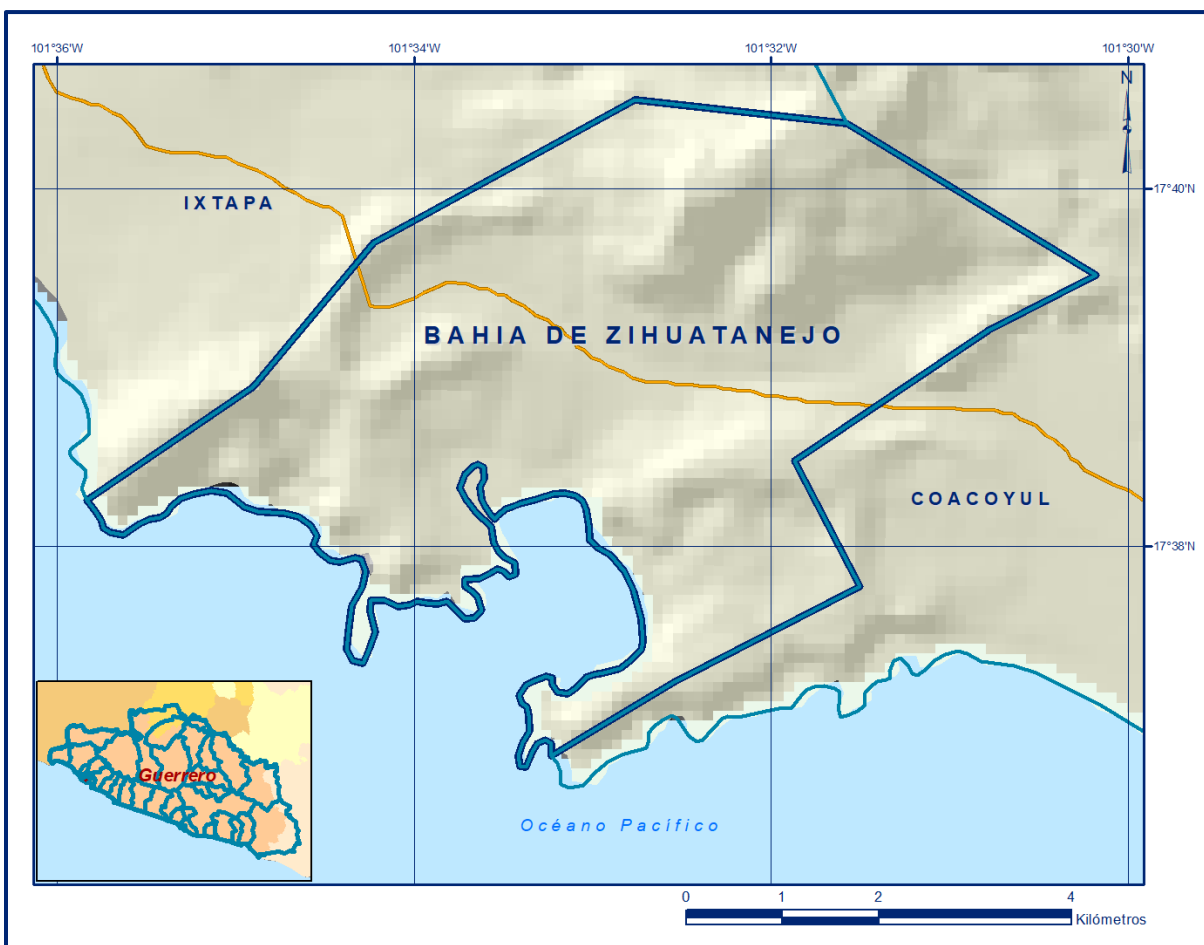


Figura 1. Localización del acuífero

El acuífero se localiza totalmente dentro del municipio de José Azueta, destacando en él las poblaciones de San José Ixtapa, Barrio Nuevo, La Salitrera, Pantla, Zihuatanejo y Coacoyul. 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

ACUÍFERO 1216 BAHIA DE ZIHUATANEJO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	34	53.9	17	38	53.5	
2	101	34	13.6	17	39	41.6	
3	101	32	45.8	17	40	29.8	
4	101	31	34.5	17	40	21.8	
5	101	30	10.9	17	39	30.9	
6	101	30	46.9	17	39	12.4	
7	101	31	52.1	17	38	28.5	
8	101	31	30.2	17	37	46.4	
9	101	32	32.4	17	37	14.7	DEL 10 AL 11 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
10	101	33	13.8	17	36	49.8	
11	101	35	49.9	17	38	15.3	
1	101	34	53.9	17	38	53.5	

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 José Azueta, Petatlán, Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Benito Juárez”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 1978. De acuerdo con él, 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 2. La zona turística de Ixtapa-Zihuatanejo es abastecida por pozos localizados en los acuíferos de Ixtapa y la misma Bahía de Zihuatanejo. El principal usuario del agua subterránea es el organismo operador de agua potable del municipio: Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Zihuatanejo (CAPAZ). 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 GEOHIDROLÓGICO DEL RÍO IXTAPA, GRO.. 1979. 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 Valle del río Ixtapa, determinando sus características de recarga y descarga, así como su capacidad de almacenamiento, con la finalidad de evaluar la disponibilidad hidráulica superficial y subterránea para su futura captación, como fuente de abastecimiento para el desarrollo turístico de Ixtapa-Zihuatanejo.

Dicho estudio fue de utilidad para tener un panorama general de las condiciones hidrogeológicas dentro de la cuenca del río Ixtapa, así como para obtener información sobre la ubicación de los aprovechamientos censados y el valor de la profundidad del agua en el acuífero para ese año.

Concluye que, para el área de balance considerada de La Salitrera hacia el mar, el valor de la recarga media anual es de 13.2 hm^3 , de los cuales 1.7 corresponden a las entradas subterráneas, 8.5 a las infiltraciones a lo largo del cauce del Río Ixtapa y por efecto de la lluvia y los 3.0 hm^3 restantes a una probable recarga que vuelve a ser drenada hacia el río.

Dado que el cambio de almacenamiento es nulo el valor de las salidas es de también 13.2 hm^3 , de los cuales 3.4 salen subterráneamente hacia el mar, 4.4 se extrae por bombeo y los 5.4 hm^3 restantes se evapotranspiran. Se propone la extracción adicional de 500 lps, de los 364 serían extraídos del almacenamiento del acuífero y 136 los lps del escurrimiento del río. Para ello se propone dos alternativas: una galería filtrante o una batería de 5 pozos, con la posibilidad de sobreexplotar estacionalmente el acuífero durante la temporada de estiaje sabiendo al llover y escurrir agua a lo largo del cauce se recuperarán los niveles del agua subterránea.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL VALLE DE LA SALITRERA, PARA DEFINIR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LA LOCALIDAD DE IXTAPA ZIHUATANEJO, GRO.. 1990-1991. INGENIERÍA Y PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO, S. A. DE C. V. En este estudio se hace énfasis en el interés por conocer la capacidad de explotación del acuífero que sustenta el valle de La Salitrera, esto con base en el análisis de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas, así como en el análisis de la información climatológica, prospecciones geofísicas y la realización de mediciones piezométricas, para obtener un balance de aguas subterráneas y así conocer el potencial de explotación de dicho acuífero. Proporciona información sobre las condiciones hidrogeológicas de la región para el periodo de análisis, y un censo de captaciones que fue de gran utilidad para el seguimiento de las observaciones piezométricas llevadas a cabo en estudios posteriores.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL VALLE DEL RÍO PANTLA, PARA DEFINIR EL CAUDAL DE EXPLOTACIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A LA LOCALIDAD DE IXTAPA ZIHUATANEJO, GRO.. 1990-1991. INGENIERÍA Y PROCESAMIENTO ELECTRÓNICO, S.A DE C. V.

Este estudio junto con el de La Salitrera y Coacoyul-San Miguelito formaron parte de un programa de evaluación para determinar el potencial de los acuíferos como fuentes de suministro para la zona turística de Ixtapa-Zihuatanejo.

Como resultado de sus trabajos de campo concluye, de manera conservadora, que es posible incrementar la extracción sin ocasionar efectos perjudiciales en el acuífero de unos 165 lps (5.2 hm³ anuales) adicionales a los 1.15 que se explotaban en aquellas fechas. Para ello recomienda la perforación de 3 o 4 pozos con un caudal variable entre 40 y 55 lps cada uno de ellos, en los sitios más favorables definidos por la geofísica

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. 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, 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 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 perforación de obras someras de hasta 25 m de profundidad con gastos máximos de 5 lps, con un espaciamiento entre ellas no menor a los 1,300 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 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 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 Ixtapa 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. La planicie costera está conformada por materiales clásticos del Cenozoico (boleos, gravas, arenas, limos y arcillas), formando depósitos de litoral, aluviales, deltáicos y eólicos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificados por E. García (1964), el clima imperante dentro del área 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. Aunque existen dos estaciones climatológicas dentro del área que pueden considerarse representativas de la región: La Unión e Ixtapa, el registro de información sólo abarca un periodo de 8 años (1982-1990) que no se considera suficiente para un análisis estadístico confiable. En su lugar se utilizó la información de la Estación Zihuatanejo, con un registro del año 1961 a 1999.

La precipitación pluvial presenta su temporada principal de lluvias en verano, extendiéndose hasta el otoño (mayo-octubre). Los valores varían de 900 a 1,500 mm, con una media anual de 1,095 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 36° C, dependiendo de la altura sobre el nivel medio del mar. El valor de la evapotranspiración 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 del acuífero, sobre la cual se vierten las aguas del río Ixtapa, pertenece a la Región Hidrológica No. 19 denominada Costa Grande de Guerrero, cuenca "C" Río Ixtapa y Otros, subcuenca del Río Ixtapa. Dicha cuenca abarca a todos los ríos comprendidos entre la desembocadura del Río Balsas y hasta el límite con la cuenca "B" Río Coyuquilla 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 el río Ixtapa y río La Unión; el primero de ellos tiene su origen a partir del arroyo El Zapote y Río Verde, mismos que se unen para dar lugar al Río La Laja, que posteriormente cambia su nombre al de Río Ixtapa, a partir del poblado La Salitrera, marcando el inicio de la planicie costera.

Dentro de la zona, la cuenca del Río Ixtapa abarca un área de 824 km², mientras que la del Río La Unión abarca aproximadamente 1,091 km², teniendo como elemento hidrográfico importante la Laguna de Potosí. Salvo la batería de pozos que abastece al complejo turístico Ixtapa-Zihuatanejo y a los centros de población, así como el acueducto que conduce el agua extraída, tanto del acuífero Ixtapa como dentro de la bahía, no existe infraestructura hidráulica de mayor importancia en la zona.

3.4 Geomorfología

La cuenca en donde se ubica el acuífero Bahía de Zihuatanejo presenta una orientación NW-SE, paralela a la costa, con elevaciones máximas del orden de 200 a 300 msnm en las sierras metamórficas que representan el límite sur de la bahía.

Presenta sierras abruptas, constituidas por rocas metamórficas e ígneas, y cerros redondeados conformados por rocas volcánicas y calizas. La red hidrográfica es de tipo dendrítico, en la que los escurrimientos descienden rápidamente hacia el Océano Pacífico.

Las sierras constituidas por rocas sedimentarias carbonatadas, presentan un ciclo geomorfológico maduro, ya que sus perfiles son suaves y ondulados. En contraste, las sierras conformadas por rocas ígneas-metamórficas, muestran un relieve juvenil sumamente accidentado. Ambas unidades geomorfológicas se continúan hasta formar la línea de costa, que en combinación con la erosión hídrica de la región (lluvias y oleaje) dan origen a acantilados y depresiones colmatadas que motivan playas y pequeños valles.

4 GEOLOGÍA

La geología general del área comprende a las rocas metamórficas del Paleozoico, las rocas volcánicas del Cenozoico, las calizas y lutitas del Cretácico Inferior, así como los materiales recientes formados por gravas, arenas, limos y arcillas producto de la alteración y acarreo de rocas preexistentes. La geología del estado de Guerrero no es simple, 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).

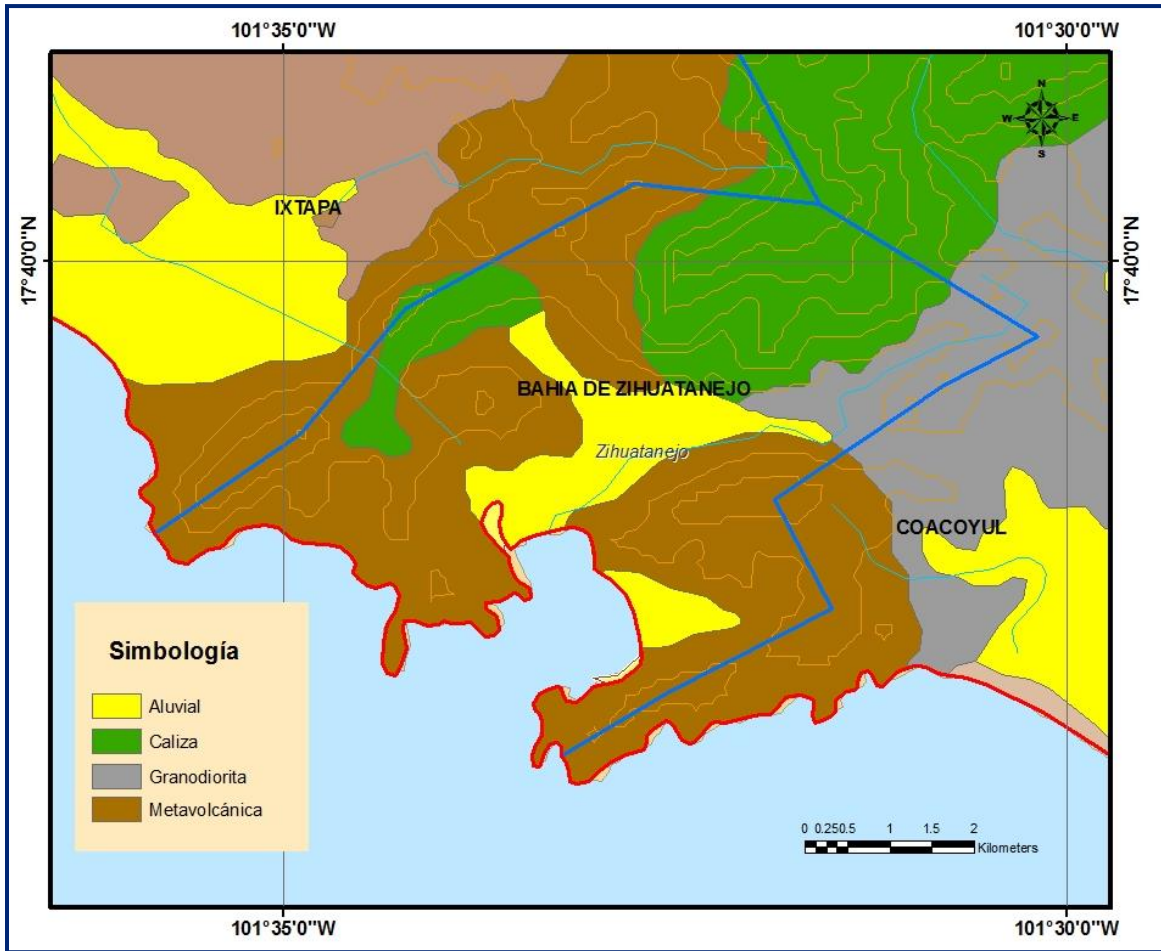


Figura 2. Geología general del acuífero

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, las demás unidades se consideran impermeables para fines hidrogeológicos

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Paleozoico 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 Paleozoicas (Pma)

Esta unidad es un complejo de rocas metamórficas representado por pizarras y filitas que constituye el basamento de la región. Ortega Gutiérrez et al. (1992) consideran a esta unidad como un Complejo Metamórfico que 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.

Dentro del área se observan rocas meta-andesíticas de color verdoso, con foliación incipiente, que afloran en las inmediaciones de Zihuatanejo en forma de serranías menores que se pierden en el mar en forma de acantilados.

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 del Mesozoico (Km)

Dentro de la zona de interés se presentan afloramientos formados por una sucesión de calizas y dolomías del Cretácico Inferior. Esta unidad se presenta al norte de la ciudad de Zihuatanejo (cerros La Salitrera, El Mango, Mata de Sandia y El Encanto), donde afloran calizas masivas, que se encuentran suprayaciendo en forma discordante a las rocas metamórficas.

De acuerdo con la constitución litológica de esta unidad, solo cuando se encuentra fracturada puede tener porosidad secundaria para permitir el flujo del agua subterránea.

Rocas del Cenozoico

Esta unidad se presenta afectando a las formaciones geológicas del Paleozoico y Mesozoico, se tiene una serie de rocas intrusivas del Eoceno-Oligoceno que afloran entre los poblados de Zihuatanejo y San Miguelito, las cuales están representadas por rocas de composición granítica. Hacia la superficie las rocas graníticas están intemperizadas originando arenas de composición cuarzosa con una matriz feldespática.

Salvo la parte alterada y fracturada, se ha visto en acuíferos vecinos que cuando alcanza un espesor considerable llega a almacenar cantidades significativas de agua, la parte sana del granito se considera impermeable.

Depósitos del Cuaternario (Qal)

Esta unidad aflora ampliamente en la zona de menor elevación de la cuenca y en forma adyacente a los arroyos principales. Están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas, formadas como producto de la erosión de la secuencia metamórfica y granítica descrita previamente.

En la zona costera se presenta como depósitos de playa, constituidos por arena de grano muy fino, mismas en las que se observa la presencia de partículas de cuarzo disgregadas de las rocas intrusivas. Por su constitución y buena porosidad, se considera que esta unidad es de interés local dada su buena porosidad y permeabilidad.

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 Pantla, 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, hacia el poblado Agua de Correa, 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 metamórficas y 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.

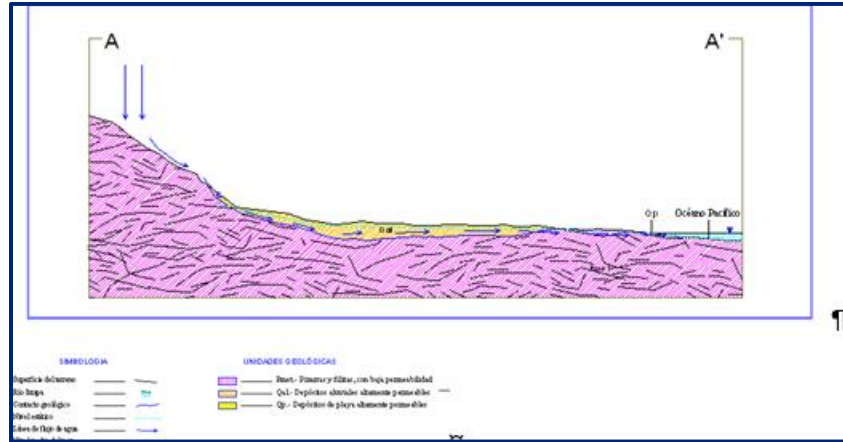


Figura 3. Sección geológica esquemática

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 metamórficas y graníticas.

Este es el acuífero en explotación en la bahía y una de las fuentes de abastecimiento de la población de Zihuatanejo.

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 Ixtapa, se buscan otras fuentes que garanticen el abastecimiento de la población y la zona turística Ixtapa-Zihuatanejo.

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 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 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 realizado aproximadamente 30 pruebas de bombeo diseminadas en los tres 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 hrs, 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 y $15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. 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 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 (2004)

La profundidad al nivel estático varía estacionalmente mostrando rápida respuesta a la recarga por infiltración de las 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 6 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).

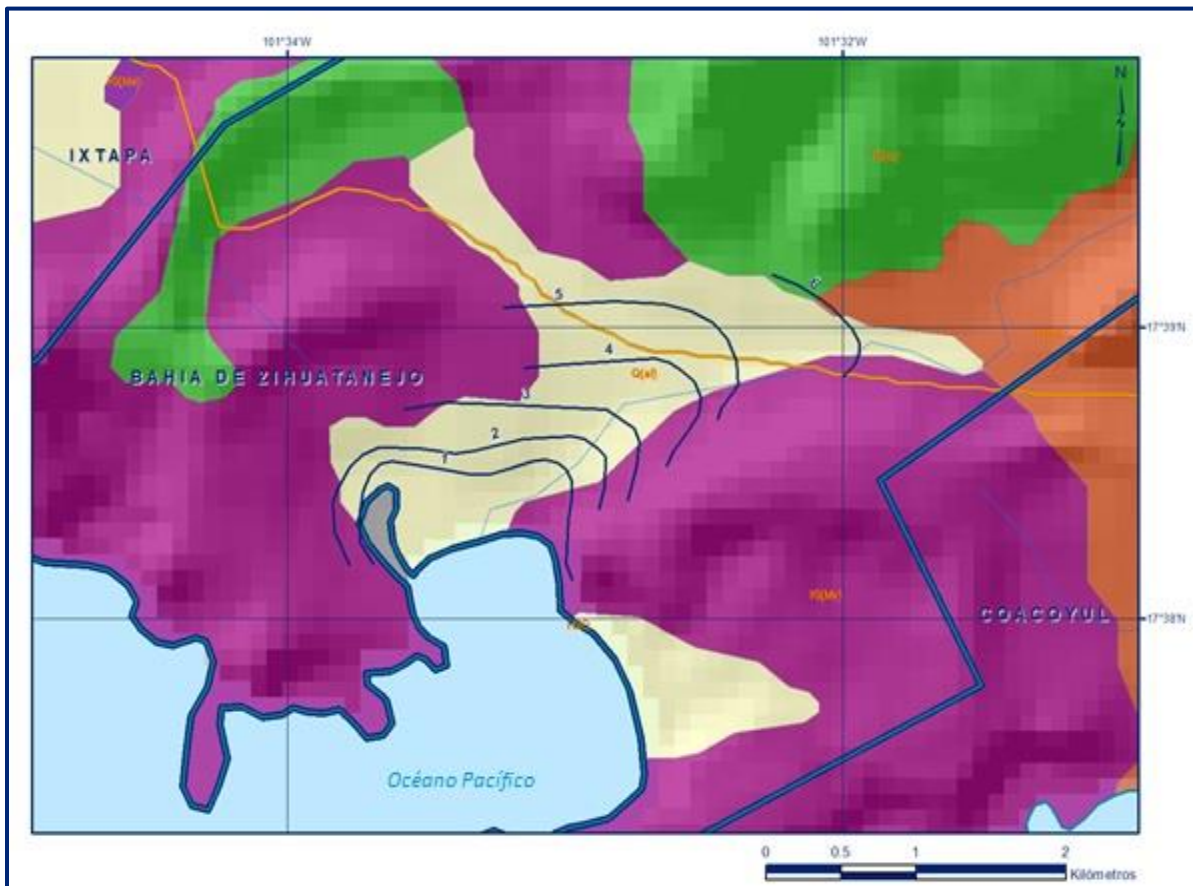


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (noviembre 2004)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático para noviembre de 2004 presenta elevaciones máximas superiores a los 20 msnm, hacia la zona del poblado Agua de Correa; y valores mínimos de 9 msnm en los aprovechamientos localizados hacia la bahía (Figura 5). Los gradientes hidráulicos varían de 0.01 a 0.02.

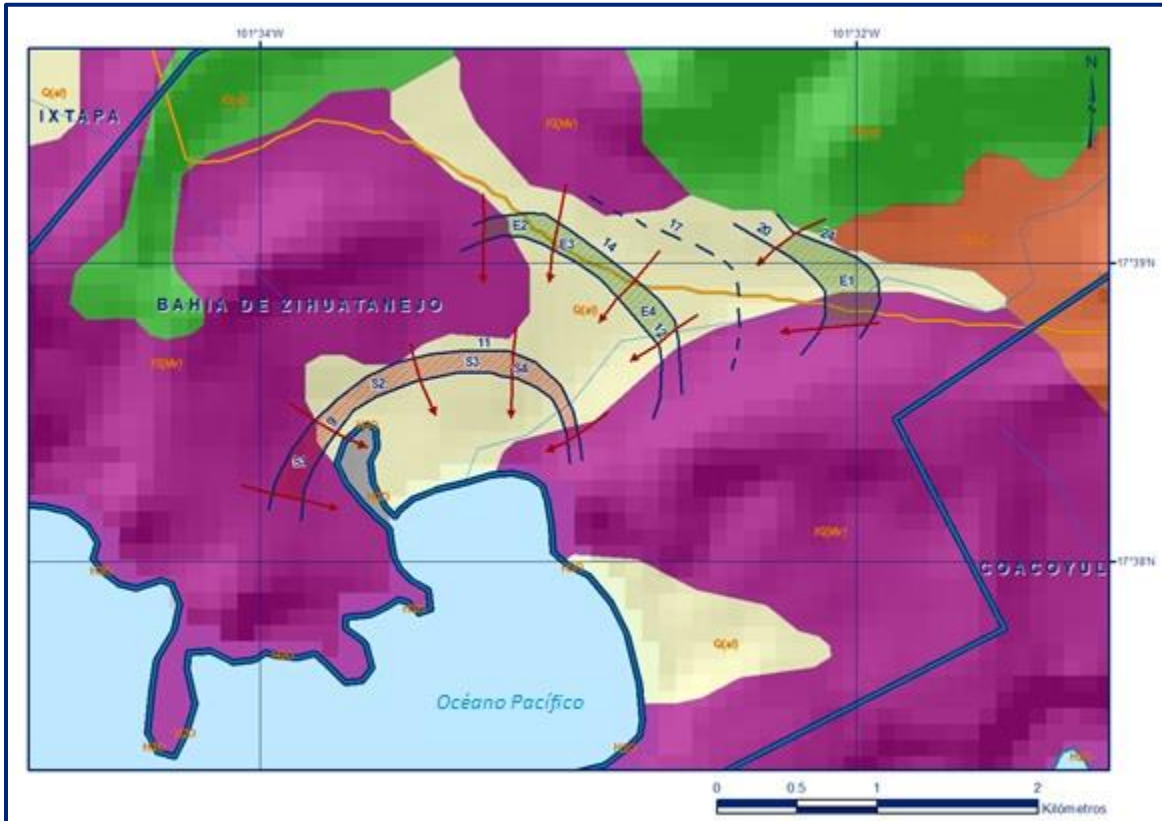


Figura 5. Elevación del nivel estático en m.s.n.m (noviembre 2004)

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. 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.

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 acuerdo con cifras de la Gerencia Estatal en Guerrero (2005), existen dentro del acuífero un total de 11 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 5 son pozos y 6 norias; que en conjunto extraen un total de **1.4 hm³**, destinados exclusivamente al uso público-urbano.

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:

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

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

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

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 Zihuatanejo 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.

7.1.1 Recarga natural (Rn)

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.

7.1.2 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:

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

7.1.3 Entradas subterráneas horizontales (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas altas del área 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 **2.3 hm³/año**.

$$Q = B * i * T$$

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 (m²/s) en el canal de flujo

Tabla 2. Entradas subterráneas por flujo 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	650	290	4	0.01379	0.0023	0.0206	0.7
E2	600	160	2	0.01250	0.0023	0.0173	0.5
E3	420	100	2	0.02000	0.0023	0.0193	0.6
E4	450	130	2	0.01538	0.0023	0.0159	0.5
TOTAL							2.3

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". Ingeniería de Evaluación y Prospección, S.A. de C.V. (1999), considerando un espesor de 20 m para los depósitos granulares y K igual a 10 m/día.

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 ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, dicha extracción efectuada por bombeo es del orden de **1.4 hm³/año**, destinado exclusivamente al uso público-urbano.

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 **2.1 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Salidas subterráneas por flujo 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	520	190	2	0.01053	0.0023	0.0126	0.4
S2	620	160	2	0.01250	0.0023	0.0178	0.6
S3	420	100	2	0.02000	0.0023	0.0193	0.6
S4	450	130	2	0.01538	0.0023	0.0159	0.5
TOTAL							2.1

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 los 10 m de profundidad, definido como el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, ésta 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, $\Delta V(s) = 0$.

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):

$$\begin{aligned} R_v &= Sh + B + ETR - \Delta V(S) - E_h \text{ ----- (2)} \\ R_v &= 2.1 + 1.4 + 0.0 - 0.0 - 2.3 \\ R_v &= 1.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera la recarga total media anual $R = R_v + E_h$

$$R = 3.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (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 **3.5 hm³/año** (Millones de metros cúbicos 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; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Bahía de Zihuatanejo, el valor es de **2.1 hm³ anuales**, 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 Zihuatanejo el rendimiento permanente es **1.4 hm³ anuales**.

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 **1,413,440 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 3.5 - 2.1 - 1.413440 \\ \text{DMA} &= -0.013440 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **13,440 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1979. "Estudio Geohidrológico del Río Ixtapa". Realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Consultores, S. A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1990-1991. "Estudio Geohidrológico en el Valle del Río Pantla, para definir el caudal de explotación para el suministro de agua a la localidad de Ixtapa Zihuatanejo, Gro.". Realizado por la empresa Ingeniería y Procesamiento Electrónico, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1991. "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.". Realizado por la empresa Ingeniería y Procesamiento Electrónico, S.A. de C.V.