

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO IXTAPA (1215) ESTADO DE  
GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación Administrativa del Acuífero.....	4
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA. ....</b>	<b>6</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía.....	7
3.4	Geomorfología.....	8
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
4.1	Estratigrafía.....	10
4.2	Geología estructural.....	12
4.3	Geología del subsuelo.....	13
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
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.....	15
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	19
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>21</b>
7.1	Entradas.....	22
7.1.1	Recarga natural (Rn).....	22
7.1.2	Recarga vertical (Rv).....	22
7.2	Salidas.....	23
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	23
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	23
7.2.3	Evapotranspiración (ETR).....	24
7.3	Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	26
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>26</b>
8.1	Recarga total media anual (R).....	27
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>29</b>

## **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 Ixtapa, definido con la clave 1215 por la Comisión Nacional del Agua comprende una superficie de 852 k m<sup>2</sup> de la porción noroccidental del estado de Guerrero, el acuífero Ixtapa se localiza entre el Océano Pacífico y la Sierra Madre del Sur, en la región conocida como Costa Grande de Guerrero. La zona donde se localizan los aprovechamientos, a la que nos referimos en este documento, se encuentra delimitada por los paralelos 17° 40' y 18° 05' de latitud norte y los meridianos 101° 05' y 101° 40' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 30 k m<sup>2</sup>, y es una de las principales fuentes de abastecimiento para el complejo turístico Ixtapa–Zihuatanejo. Colinda al norte con los acuíferos La Unión y Paso de Arena, al oriente con San Jeronimito, al sur con el Océano Pacífico y los acuíferos Coacoyul y Bahía de Zihuatanejo, al occidente con el acuífero Pantla (Figura 1).

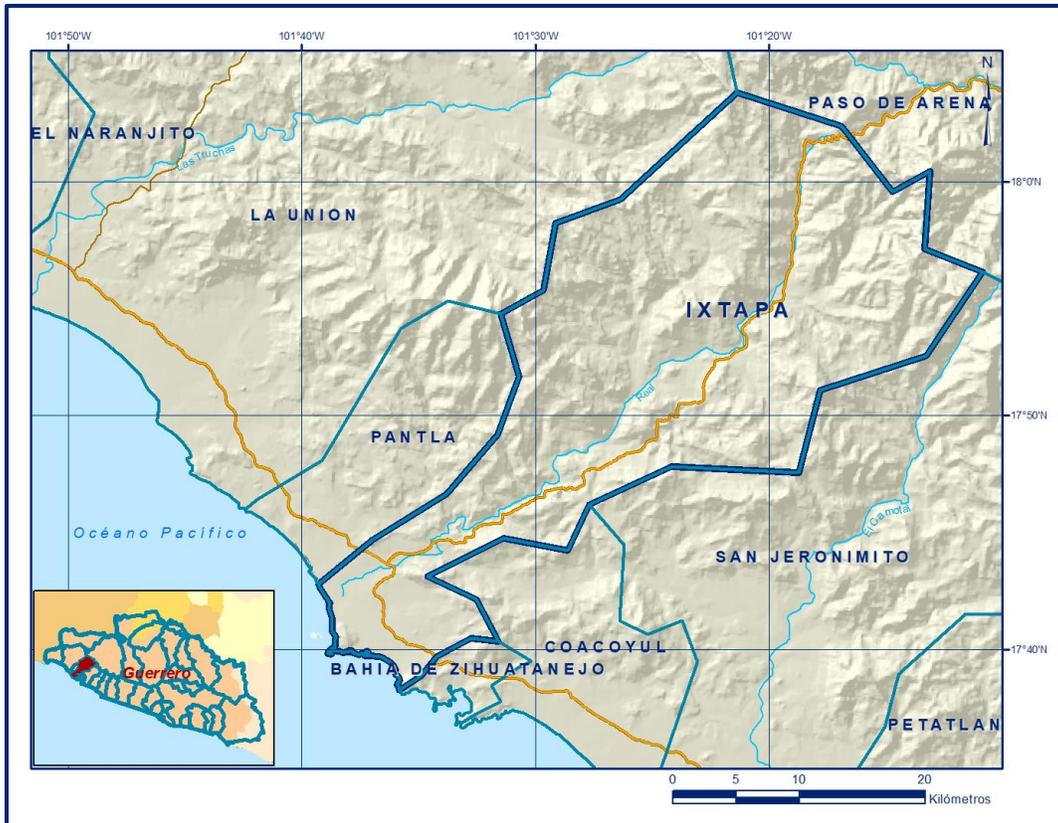


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUÍFERO 1215 IXTAPA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	36	58.8	17	39	43.6	DEL 1 AL 2 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LAS COSTA
2	101	39	18.2	17	42	47.3	
3	101	36	58.9	17	44	41.7	
4	101	33	48.7	17	46	39.2	
5	101	31	37.2	17	49	12.3	
6	101	30	43.1	17	51	39.8	
7	101	31	29.9	17	54	20.6	
8	101	29	40.9	17	55	22.6	
9	101	29	8.1	17	58	14.6	
10	101	26	22.7	17	59	14.1	
11	101	21	23.6	18	3	49.0	
12	101	16	54.9	18	2	23.1	
13	101	14	44.1	17	59	34.7	
14	101	13	8.0	18	0	26.2	
15	101	13	20.6	17	57	6.6	
16	101	10	52.4	17	56	8.1	
17	101	13	16.9	17	52	33.0	
18	101	17	50.3	17	51	6.1	
19	101	18	45.0	17	47	34.1	
20	101	24	10.7	17	47	49.0	
21	101	27	42.7	17	46	11.6	
22	101	28	36.9	17	44	14.9	
23	101	31	21.3	17	44	44.7	
24	101	34	37.0	17	43	7.2	
25	101	32	32.2	17	42	9.9	
26	101	35	5.1	17	41	26.9	
27	101	36	41.4	17	40	10.2	
1	101	36	58.8	17	39	43.6	

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.

## **1.2 Situación Administrativa del Acuífero**

El acuífero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa V Pacífico Sur y se encuentra sujeto a las disposiciones de los decretos de veda tipo II “Bajo Balsas” y “Municipios de José Azueta, Petatlán, Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Benito Juárez”, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 27 de junio de 1975 y el 6 de marzo de 1978, respectivamente.

De acuerdo con ellos, 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 establecen 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.

Debido a que en el acuífero se localiza una importante batería de pozos que abastece al complejo turístico Ixtapa-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 menor proporción se tiene al uso agrícola y doméstico-abrevadero. 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  $13.2 \text{ h m}^3$ , 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  $3.0 \text{ h m}^3$  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  $13.2 \text{ h m}^3$ , de los cuales 3.4 salen subterráneamente hacia el mar, 4.4 se extrae por bombeo y los  $5.4 \text{ h m}^3$  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. IPESA 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. 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 del Río Ixtapa, si 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.

### **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 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, 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 k m<sup>2</sup>, mientras que la del Río La Unión abarca aproximadamente 1,091 k m<sup>2</sup>, 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, no existe infraestructura hidráulica de mayor importancia en la zona.

### **3.4 Geomorfología.**

Por su morfología la cuenca en donde se ubica el acuífero Ixtapa es de forma alargada con una orientación NE-SW, con elevaciones máximas del orden de 2500 msnm en el parteaguas definido en la Sierra Madre del Sur. 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 el Río Ixtapa es su corriente principal, la cual desemboca al 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.

Puede considerarse que esta cuenca se encuentra en estado juvenil, con una topografía abrupta, cerros redondeados y fuertes pendientes hasta el poblado La Salitrera, a partir de donde se inicia la planicie costera, con una topografía casi plana que ha inducido la formación de meandros durante el recorrido del Río Ixtapa hasta su desembocadura.

#### 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 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).

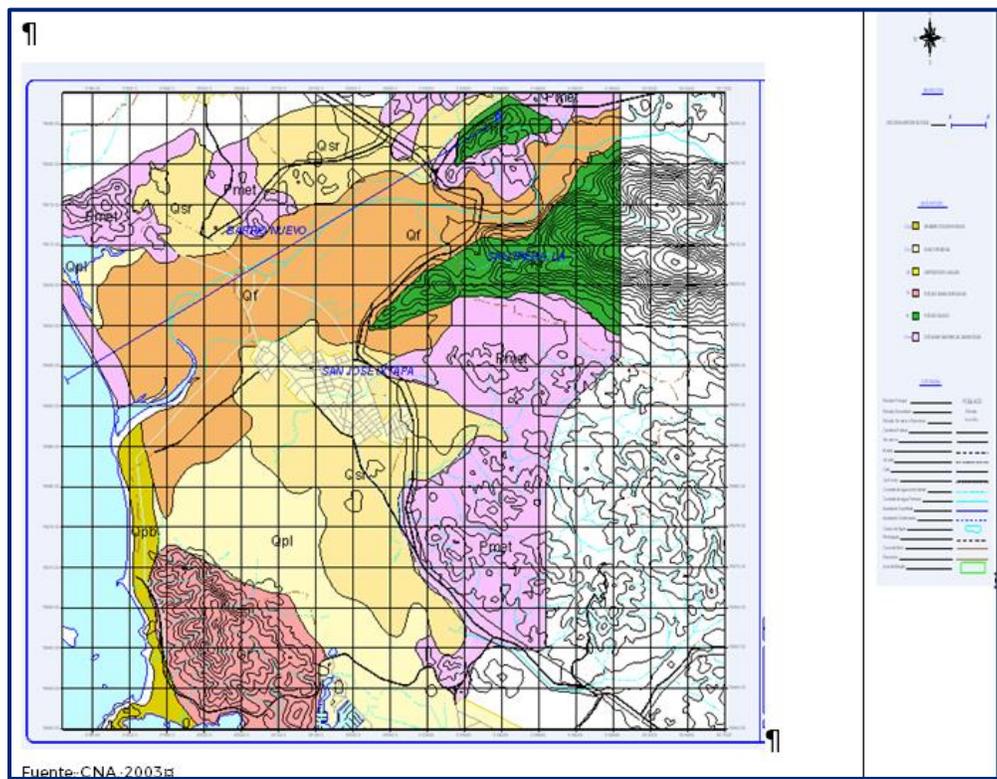


Figura 2. Geología general del acuífero

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 Reciente, 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, tomada del estudio de 1979, de la unidad más antigua a la más reciente.

### **Rocas Metamórficas Paleozoicas (Pmet)**

Esta unidad es un complejo de rocas metamórficas representado por pizarras y filitas que constituye el basamento de la región. Sus afloramientos se identificaron en la margen izquierda del río Ixtapa, cubiertos en algunas partes por sedimentos de pantano y suelos residuales. 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.

### **Calizas y lutitas del Cretácico Inferior (Ki)**

Las rocas de esta unidad afloran en las estribaciones de la sierra, en ambos márgenes del río Ixtapa y consiste de calizas de color gris, de estratificación gruesa, que se encuentran intercaladas con lutitas, las cuales están cubiertas por arcillas, producto su misma alteración.

Esta unidad se encuentra aflorando principalmente en el cerro La Salitrera, ubicado al noreste del poblado del mismo nombre. 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.

### **Granito (Gi)**

Esta unidad se presenta al suroeste del área, en un corte de la carretera que comunica al poblado Barrio Nuevo con la carretera federal No. 200, formando el cerro La Hedionda.

Está constituida por un granito que se encuentra muy alterado y fracturado en su parte superior, razón por la cual en algunas zonas ya se han formado suelos, esto como consecuencia del intenso intemperismo y la erosión a la que ha sido sujeto. Salvo la parte alterada y fracturada que cuando alcanza un espesor considerable llega a almacenar cantidades significativas de agua, la parte sana del granito se considera impermeable.

### **Andesita (Ta)**

Se presenta como un derrame andesítico porfídico de color morado, fracturada y un poco alterada que aflora en las estribaciones de la sierra, en la margen derecha del Río Ixtapa. Posiblemente su edad corresponda al Cenozoico ya que se encuentra cubierta por una capa de suelo limo-arcilloso. Por su constitución litológica se clasifica como una unidad impermeable para fines hidrogeológicos.

### **Brecha volcánica (Tb)**

Esta unidad corresponde a una brecha volcánica compacta y escaso fracturamiento que aunado a su baja porosidad le confieren su naturaleza impermeable. Aflora en una pequeña sierra que se encuentra sobre la margen derecha del Río Ixtapa, a la altura del poblado Barrio Nuevo.

### **Sedimentos de pantano (Qpl)**

Estos sedimentos de ambiente paludal se localizan al sur de la zona, sobre ambas márgenes del río, cerca de la línea de costa.

Esta unidad está constituida por limos y arcillas de poco espesor y se encuentra sobreyaciendo discordantemente a las rocas del Paleozoico (Pmet). Por su constitución litológica, baja permeabilidad y transmisividad, carece de interés hidrogeológico.

### **Depósitos de playa (Qpb)**

Esta unidad está constituida por arenas de granulometría media y fina que forman una barra en la desembocadura del río Ixtapa. Por su constitución y buena porosidad, se considera que esta unidad es de interés local dada su buena porosidad y permeabilidad.

### **Suelos (Qsr)**

La unidad de suelos residuales se encuentra ampliamente distribuida en las partes bajas de la estrecha planicie costera, cubriendo con una capa delgada a las rocas preexistentes. Se trata de sedimentos limo-arcillosos formados como producto de la alteración de las rocas metamórficas, así como sedimentos arcillosos provenientes de la erosión de las rocas calcáreas del Cretácico y la alteración por intemperismo del granito. A pesar de manifestar buena porosidad y ser considerada como una unidad permeable, debido a que esta unidad tiene poco espesor presenta pocas perspectivas de almacenamiento de agua.

### **Sedimentos fluviales (Qf)**

Esta unidad está constituida principalmente por gravas gruesas, arenas y limos, que por su distribución y granulometría fue dividida en dos tipos de sedimentos fluviales:

a) Playones y terrazas. Esta unidad tiene su origen en el transporte de las aguas fluviales, cuyos materiales han sido depositados en las vegas del río, formando playones y terrazas de poca altura, en las que superficialmente abundan las arenas. Por su litología esta unidad presenta 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.

b) Cauce aluvial. Son materiales clásticos constituidos por gravas de diversos tamaños, arena, boleas y cantos rodados, transportados por la acción de las aguas fluviales y depositados en las depresiones formadas en las rocas metamórficas, principalmente por la acción erosiva de las corrientes. Esta unidad presenta buena porosidad y alta permeabilidad debido a la naturaleza propia de los materiales que la conforman. Su espesor varía de 10 a 60 m y constituye el acuífero principal que sustenta el desarrollo de la región.

### **4.2 Geología estructural**

La geología estructural está influenciada por la complejidad tectónica que presenta la zona. En las rocas cretácicas que conforman la unidad de calizas y lutitas es común la presencia de plegamientos, pero debido a su naturaleza compacta no se han desarrollado conductos de disolución.

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.

Cabe señalar que, como resultado de los procesos geológicos que han conformado en 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 analizada.



Su espesor varía de 10 a 60 m y tiene como basamento y fronteras laterales al flujo subterráneo a las rocas metamórficas, graníticas, andesitas y la brecha volcánica. Este es el acuífero en explotación y la principal fuente de abastecimiento para el desarrollo de la región.

Existen otras unidades hidrogeológicas que, dado su contenido de sedimentos finos, le confieren baja permeabilidad, constituyendo acuicludos que se encuentran en contacto con el acuífero principal. A esta clasificación pertenecen los suelos residuales, las arenas finas, arcilla y limos que constituyen las terrazas, y los depósitos palustres.

## **5.2 Parámetros hidráulicos.**

En los estudios previos de 1979 y 1991 se realizaron 20 pruebas de bombeo tanto en pozos como en norias, localizados en ambas márgenes del río y en la porción central y baja del acuífero, donde se localiza la zona de mayor explotación.

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. De los resultados de su interpretación se deduce que los 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 de  **$30 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . 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. El valor de  $6.5 \times 10^{-4}$  reportado en el estudio de 1979 fue obtenido en una noria de 5 metros de profundidad alojada en las terrazas aluviales y posiblemente corresponde a sedimentos limo-arcillosos que no representan el acuífero principal.

## **5.3 Piezometría**

Existe información piezométrica recabada tanto de los estudios previos como de los recorridos recientes que realiza la Gerencia Estatal en Guerrero. Sin embargo, la información de los estudios de 1979 y 1990 fue obtenida durante la temporada de lluvias cuando existe escurrimiento de agua en el cauce del río y cuando ocurre la recarga al acuífero, dada la rápida respuesta de los materiales aluviales a este fenómeno.

Por tal motivo se optó por utilizar la información recabada durante el estudio realizado por Consultoría Betsco, S.A. de C. V. (2003) y la piezometría obtenida en el 2002 y 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.

## 5.4 Comportamiento hidráulico

### 5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático (1991) registraba valores de 2 a 8 m. Los valores más someros se localizan hacia la zona costera y los más altos hacia la cabecera del acuífero y en la zona central, entre San José Ixtapa (Barrio Viejo) y Barrio Nuevo (Figura 4). Para el 2003 y 2004 la profundidad oscila entre algunos centímetros en la zona cercana a la costa, hasta los 6 m en la porción central, donde se localiza la batería de pozos que abastece a la zona turística de Ixtapa-Zihuatanejo (Figuras 5 y 6).

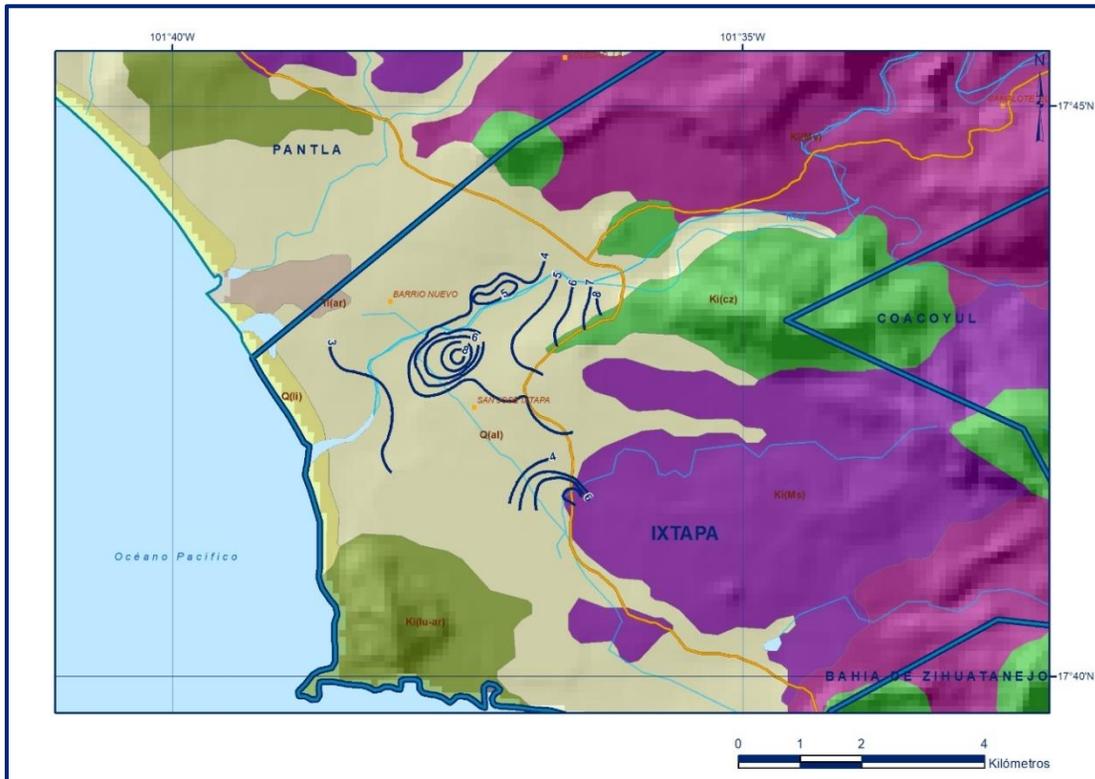


Figura 4 Profundidad al nivel estático en m (marzo 1991)

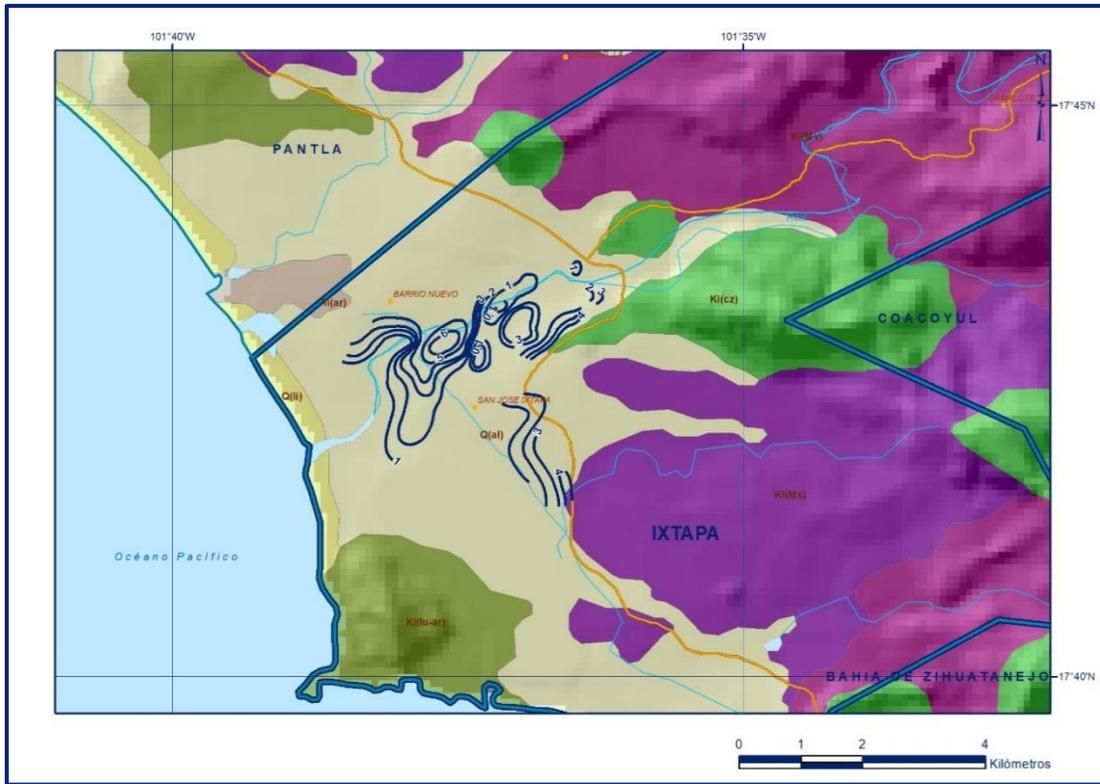


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (octubre 2003)

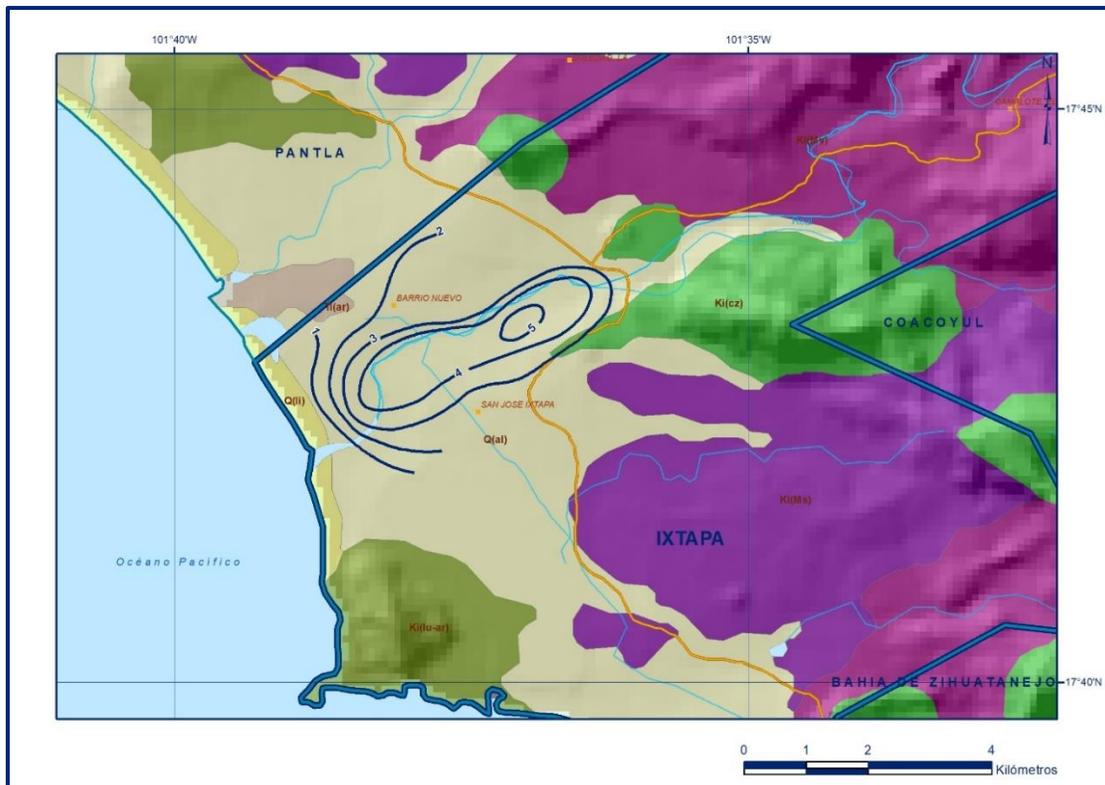


Figura 6. Profundidad al nivel estático en m (noviembre 2004)

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático de marzo de 1991 presenta una elevación máxima de 10 msnm, hacia la zona de la cabecera cerca del poblado de La Salitrera; una elevación media de 5 a 6 msnm en la porción central y de 2 a 3 msnm en la zona correspondiente al estero y desembocadura del río Ixtapa (Figura 7).

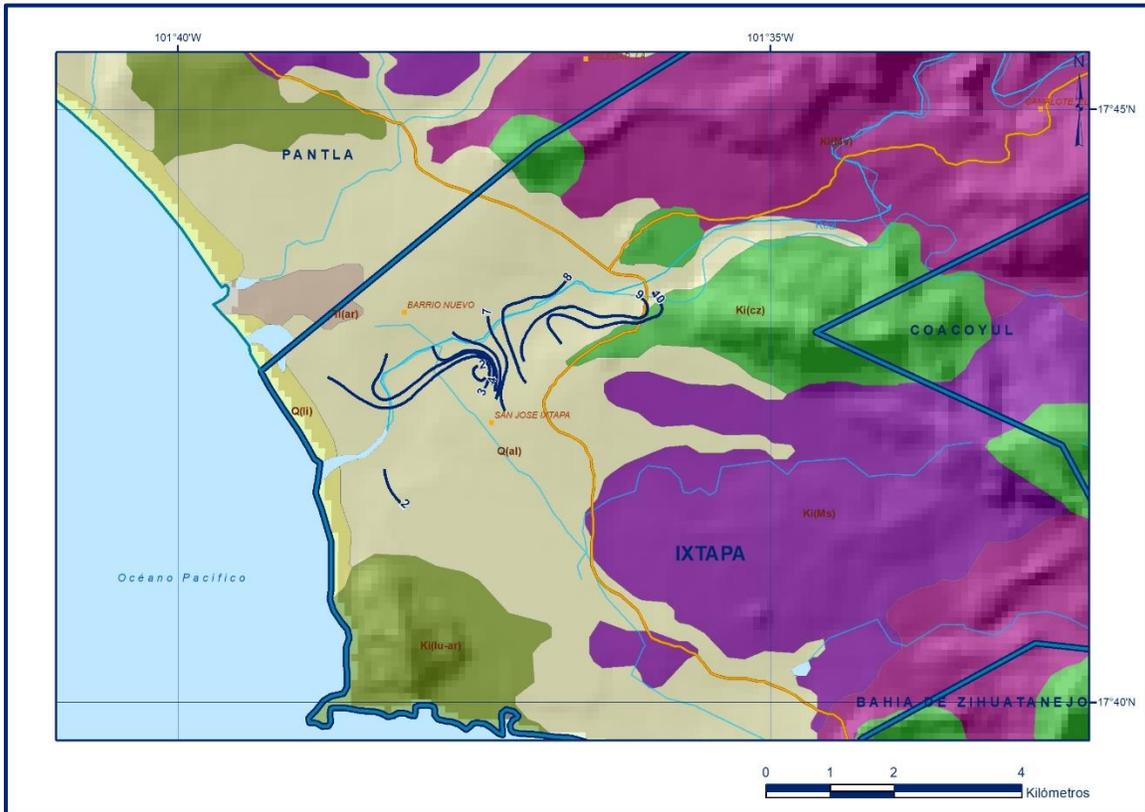


Figura 7. Elevación del nivel estático en m.s.n.m. (marzo 1991)

En la configuración de octubre de 2003 manifiestan elevaciones máximas de 19 msnm, hacia la población de La Salitrera, valores entre 13 y 14 msnm en la porción subálvea, comprendida entre Barrio Nuevo y San José Ixtapa y mínimas de 4 msnm al sureste de San José Ixtapa, como se muestra en la figura 8.

Para la configuración de noviembre del 2004 se registran valores extremos de 14 hasta 3 msnm, con gradientes hidráulicos de 0.005 a 0.002 (figura 9).

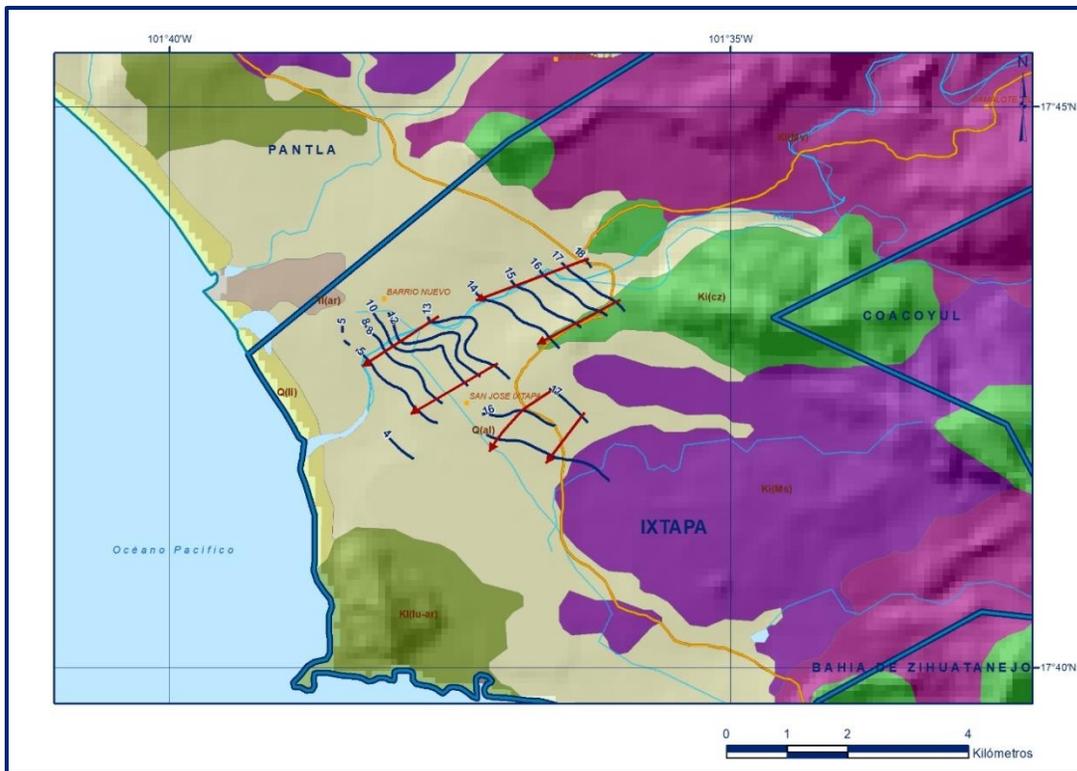


Figura 8. Elevación del nivel estático en m.s.n.m. (octubre 2003)

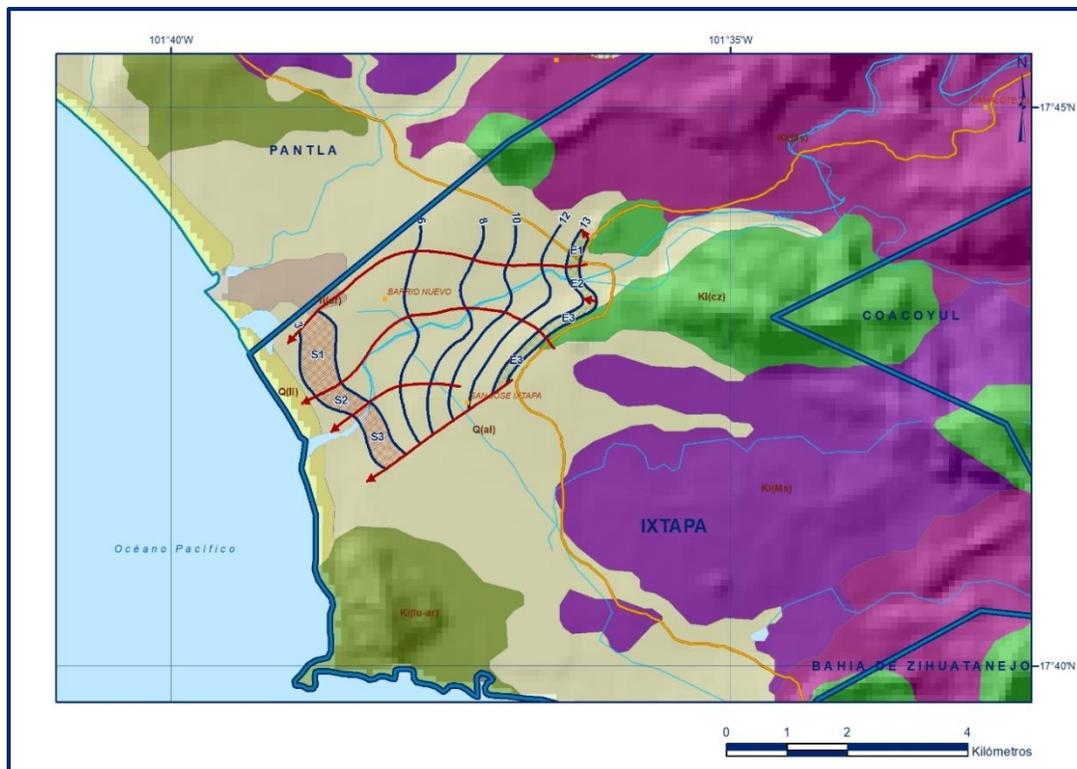


Figura 9. Elevación del nivel estático en m.s.n.m. (noviembre 2004)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de la evolución del nivel estático para el periodo 1991-2003 muestra valores positivos de hasta 0.5 m anuales debido a que los valores de profundidad corresponden a la temporada de estiaje y lluvias, respectivamente, reflejando la variación estacional de los niveles debido a la rápida respuesta del acuífero a la recarga originada por los escurrimientos del Río Ixtapa (Figura 10).

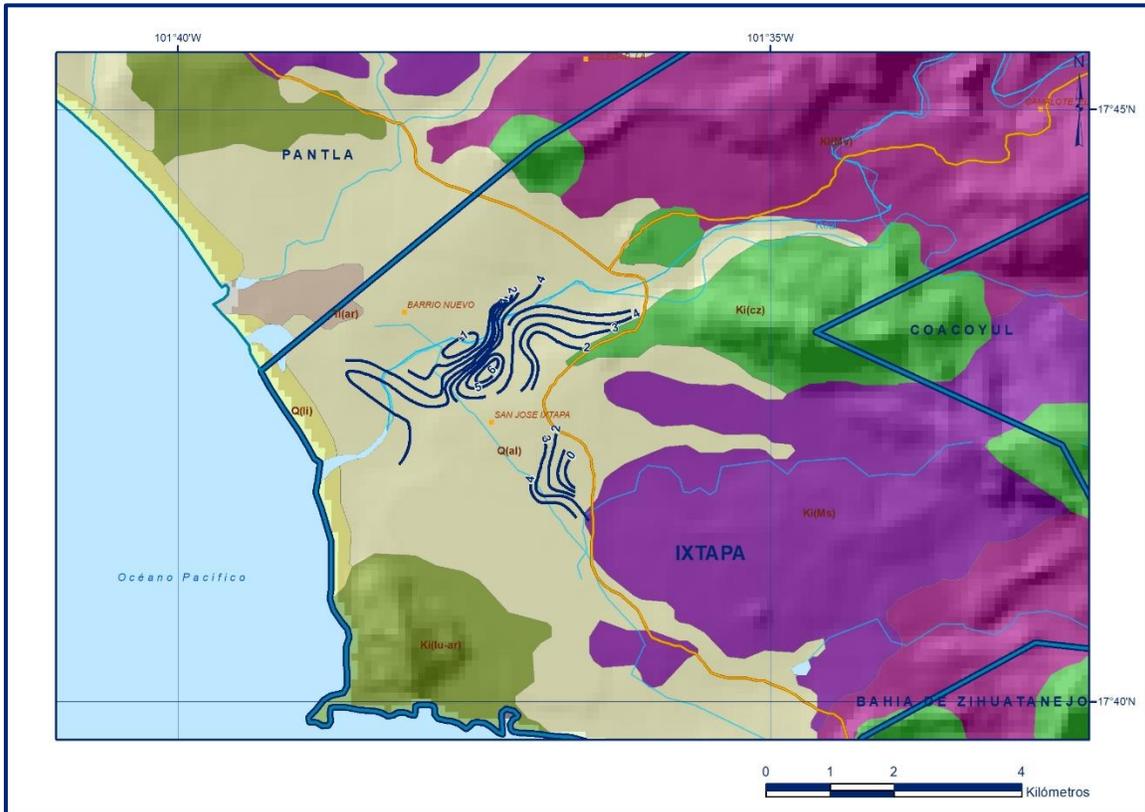


Figura 10. Evolución del nivel estático en m (1991-2003)

Con el objeto de poder comparar la evolución del nivel estático para la misma temporada del ciclo climatológico, especialmente para fines del balance de aguas subterráneas, se tomó en cuenta la información recabada por la Gerencia Estatal en Guerrero para diciembre del 2002 y noviembre del 2004, que corresponden al inicio de la temporada de estiaje.

Del análisis de la configuración presentada en la figura No. 11 se deduce que el abatimiento promedio anual es de 0.5 m, alcanzando valores de hasta 1 m para las zonas de concentración del bombeo.

Estos valores seguramente deben incrementarse conforme avanzan los meses en la temporada de estiaje, mismos que se recuperan al infiltrarse los escurrimientos originados en la temporada de lluvias.

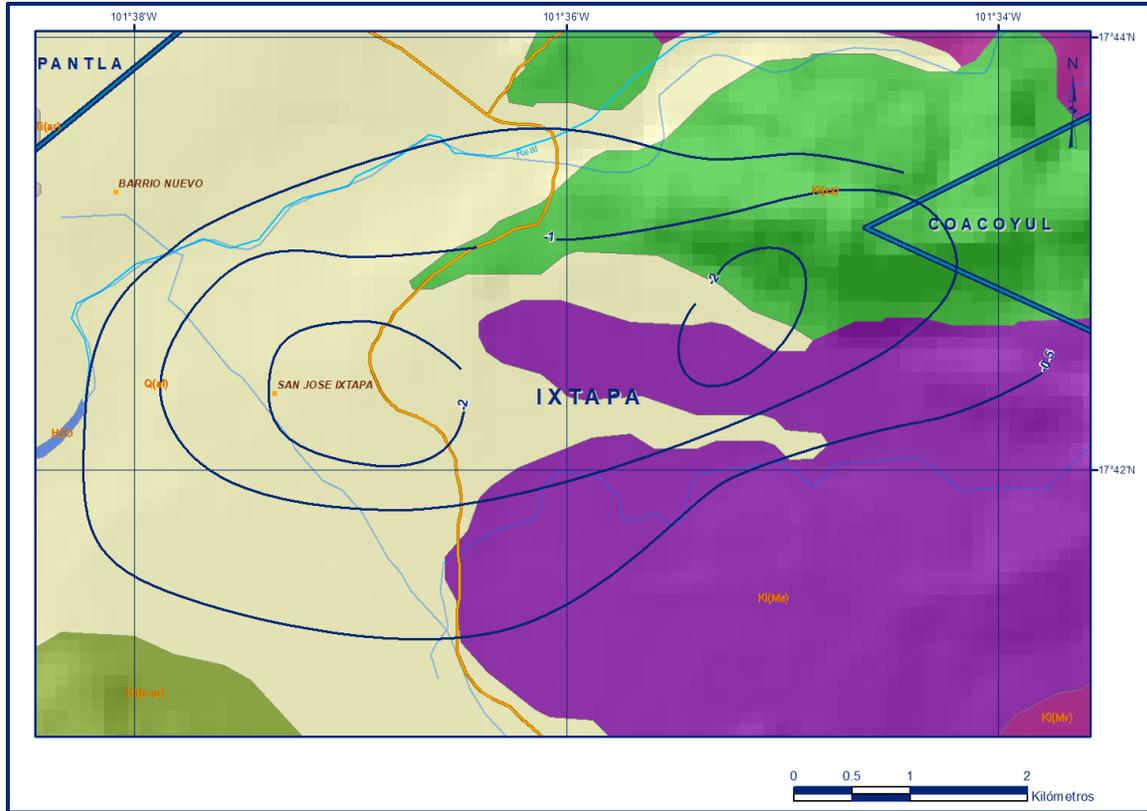


Figura 11. Evolución del nivel estático (2002-2004)

### 5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Las escasas muestras de agua subterránea que se han tomado tanto en los estudios precedentes como de la red piloto de la CONAGUA 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 1000 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. Por otra parte, 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. La información de censos previos reporta la presencia de aproximadamente 40 aprovechamientos, la mayor parte de ellos norias destinadas al abastecimiento de las necesidades del uso doméstico-abrevadero. Para 1979 el volumen de extracción calculado fue de 4.4 h m<sup>3</sup>.

De acuerdo con cifras de la Gerencia Estatal en Guerrero (2005), existen dentro del acuífero un total de 51 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 10 son pozos y 41 norias; que en conjunto extraen un total de **12.5 h m<sup>3</sup>** con la siguiente distribución por usos: 10.5 (84%) se destinan al uso público urbano, 1.7 (13.6 %) para el sector agrícola y los 0.3 h m<sup>3</sup> restantes (2.4%) para el uso doméstico-abrevadero.

## 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 definido. 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 extracción de agua subterránea se ha incrementado y que la información previa disponible no permite plantear un balance para la misma temporada del ciclo climatológico, se decidió plantear el balance para el periodo diciembre del 2002 a noviembre del 2004. Para ello, se definió un área de balance de 13 k m<sup>2</sup> que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos

## 7.1 Entradas

La recarga total (R) al acuífero Ixtapa está integrada básicamente por las entradas subterráneas (Eh) y la recarga vertical por lluvia y por los escurrimientos a lo largo del cauce del río Ixtapa (Rv).

### 7.1.1 Recarga natural (Rn)

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

### 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 ( $\Delta V$ ), 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 por flujo subterráneo horizontal (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 alimentan la zona de explotación localizada en la planicie.

En el acuífero Ixtapa la recarga por flujo horizontal de aguas subterráneas ocurre en la zona comprendida entre San José Ixtapa y La Salitrera, así como al norte de esta última población, tal como se aprecia en la Figura 9 de curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2004. 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 **6.6 h m<sup>3</sup>/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 ( $m^2/s$ ) 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	200	1	0.00500	0.0120	0.0390	1.2
E2	600	180	1	0.00556	0.0120	0.0400	1.3
E3	900	200	1	0.00500	0.0120	0.0540	1.7
E4	1150	180	1	0.00556	0.0120	0.0767	2.4
<b>TOTAL</b>							<b>6.6</b>

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas fueron tomados del "Estudio Geohidrológico en el Valle de La Salitrera". Ingeniería y Procesamiento Electrónico, S.A. de C. V. (1991).

## 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 a lo largo del río.

### 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, es del orden de **12.5 h m<sup>3</sup>/año**. Este volumen se emplea en diversos usos, entre los más importantes se encuentran el público urbano y el agrícola.

### 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 No. 9.

El Valor estimado es de **2.4 h m<sup>3</sup> anuales**, tal como se muestra en la tabla No. 4.

Tabla No. 4. Salidas subterráneas por flujo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	1000	600	1	0.00167	0.0127	0.0212	0.7
S2	600	500	1	0.00200	0.0165	0.0198	0.6
S3	1000	450	1	0.00222	0.0165	0.0367	1.2
<b>TOTAL</b>							<b>2.4</b>

### 7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

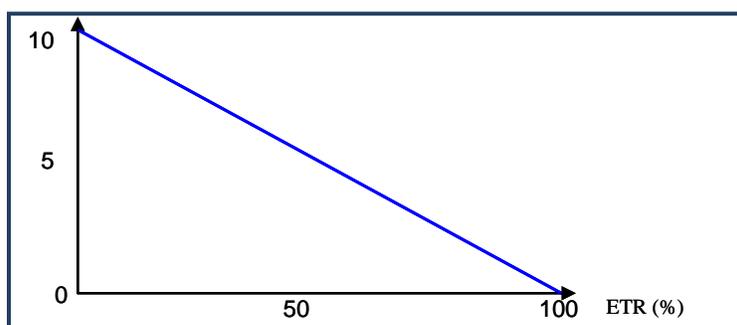
Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema. Existen dos formas de Evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR). Este parámetro es utilizado para la recarga potencial de infiltración.

En toda el área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración. Se aplicó el método de Turc para calcular que la lámina de evapotranspiración real es de 981.8 mm anuales, considerando valores medios anuales de temperatura de 26.3° C y precipitación de 1095 mm.

Fórmula de Turc:	$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$		$L = 300 + 25T + 0.05T^3$
	T (°C) = 26.3		
	P(mm) = 1095	P <sup>2</sup> = 1199025	
	L = 1867.07235	L <sup>2</sup> = 3485959.16	
	ETR (mm) = 981.8		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 10 m, bajo el siguiente proceso: en zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



De la configuración de profundidad al NE mostrada en la figura No. 6, correspondiente a noviembre del 2004, se consideran las curvas menores e iguales a 10 m, se calcula el área entre ellas y se toma el valor promedio (entre las curvas de 3 y 4 metros en valor promedio será 3.5, por ejemplo). El resultado de multiplicar el valor promedio por el área entre las curvas, deberá ponderarse de acuerdo a la relación lineal mencionada anteriormente, en este caso particular como el valor medio de profundidad es de 3.5 m, se multiplicará por 0.65 (que significa que, a esta profundidad, el 65 % es susceptible de evapotranspirarse. Lo mismo se hace para cada área comprendida entre dos curvas de profundidad menor a 10 m. Al final se obtendrá la suma de los volúmenes evapotranspirados.

El resultado de este proceso se presenta en la tabla 3, en la que se muestra que el valor de la evapotranspiración real calculado es de **9.0 h m<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 3. Cálculo de la Evapotranspiración Real

RANGOS DE PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	LÁMINA ETR (m)	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE EXTINCIÓN DE LA ETR	% ETR	VOLUMEN ETR (hm <sup>3</sup> /año)
0 A 1	0.5	0.6	0.982	10.00000	0.9500	0.56
1 A 2	1.5	1.4	0.982	10.00000	0.8500	1.17
2 A 3	2.5	6	0.982	10.00000	0.7500	4.42
3 A 4	3.5	2.2	0.982	10.00000	0.6500	1.4
4 A 5	4.5	2.6	0.982	10.00000	0.5500	1.4
5	5	0.1	0	10.00000	0.5000	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>12.9</b>				<b>9.0</b>

### 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 de sólo  $-0.5 \text{ h m}^3$ . Se considera que el tazo de las curvas de igual evolución está apoyado en valores puntuales negativos; además el cambio de almacenamiento varía estacionalmente en respuesta a la recarga por infiltración de los escurrimientos que ocurre a través del cauce del río, recuperándose rápidamente los niveles del agua subterránea que se abatieron durante la época de estiaje. Por esas razones, 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):

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

$$R_v = 2.4 + 12.5 + 9.0 - 0 - 6.6$$

$$R_v = 17.3 \text{ h m}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = 23.9 \text{ h m}^3 \text{ anuales}$$

## 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 **23.9 hm<sup>3</sup>/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 Ixtapa, es valor es de **7.2 hm<sup>3</sup> 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 (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 **15,933,826 m<sup>3</sup> 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 23.9 - 7.2 - 15.933826 \\ \text{DMA} &= 0.766174 \text{ m}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **766,174 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

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