

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO CHILPANCINGO (1228), ESTADO DE  
GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	8
3.3	Hidrografía.....	9
3.4	Geomorfología.....	9
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
4.1	Estratigrafía.....	11
4.2	Geología estructural.....	14
4.3	Geología del subsuelo.....	15
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
5.1	Tipo de acuífero.....	15
5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría.....	16
5.4	Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	19
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>20</b>
7.1	Entradas.....	21
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	21
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
7.2	Salidas.....	23
7.2.1	Evapotranspiración real (ETR).....	23
7.2.2	Bombeo (B).....	25
7.2.3	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	25
7.2.4	Descarga por manantiales (Dm).....	25
7.3	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	26
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>27</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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Chilpancingo, definido con la clave 1228 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción central del Estado de Guerrero, entre los paralelos 17°20' y 17°36' de latitud norte y los meridianos 99°22' y 99°45' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 543 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Limita al norte con el acuífero Chilapa, al este con el acuífero Tepechicotlán, al sur y oeste con el acuífero Papagayo, todos ellos perteneciente al Estado de Guerrero.

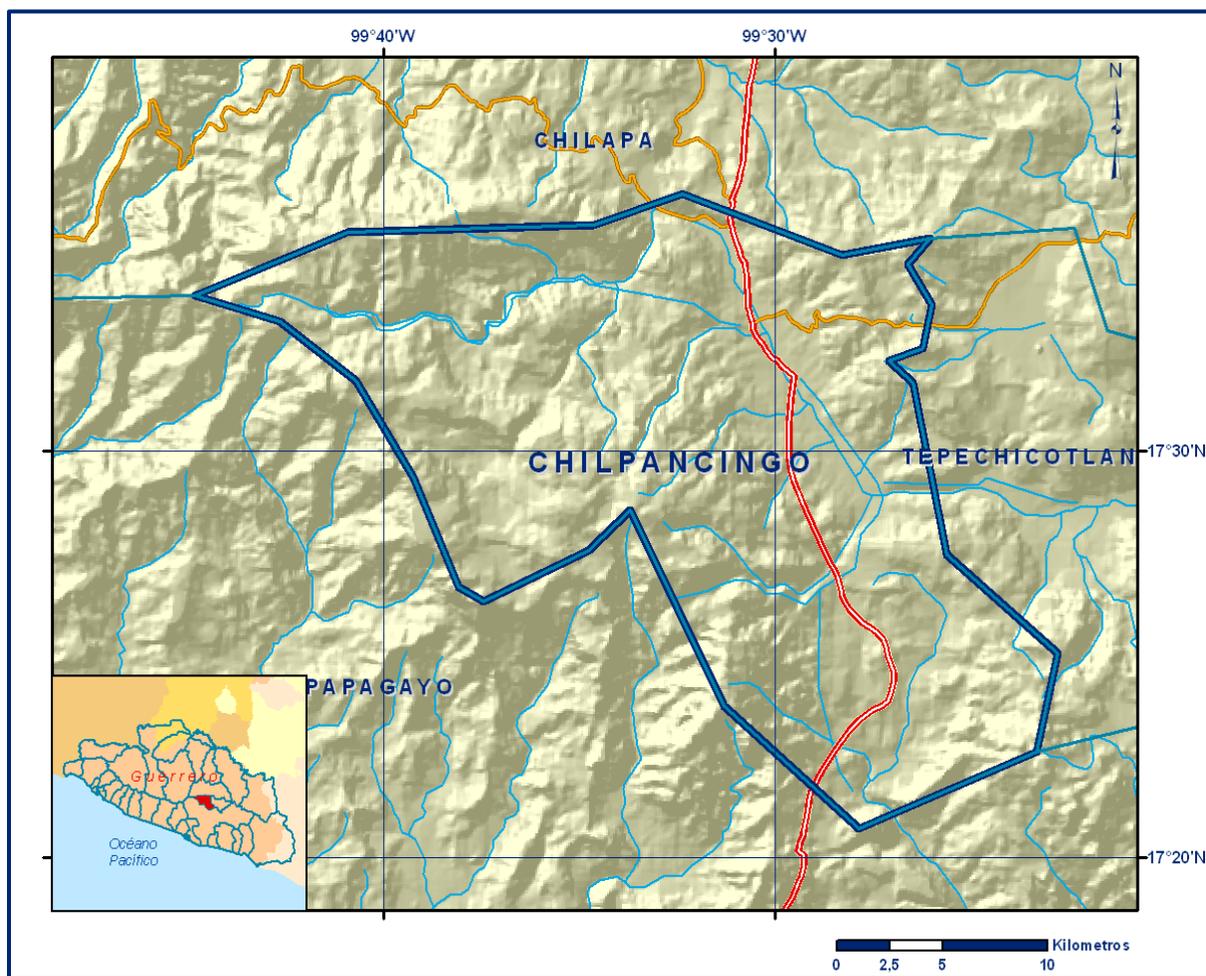


Figura 1. Localización del acuífero

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

Geopolíticamente se localiza, prácticamente en su totalidad, en el municipio Chilpancingo de Los Bravo, pequeñas áreas de las porciones sureste y noroeste se ubican en los municipios Mochitlán y Leonardo Bravo, respectivamente

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1228 CHILPANCINGO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	99	42	40.6	17	33	12.2
2	99	44	50.5	17	33	49.9
3	99	40	56.1	17	35	24.0
4	99	34	37.6	17	35	34.2
5	99	32	22.4	17	36	19.6
6	99	28	16.9	17	34	50.4
7	99	26	1.7	17	35	14.8
8	99	26	35.9	17	34	35.9
9	99	25	58.7	17	33	36.1
10	99	26	13.2	17	32	32.4
11	99	27	5.1	17	32	12.8
12	99	26	28.4	17	31	41.9
13	99	25	36.2	17	27	27.5
14	99	22	46.3	17	25	0.7
15	99	23	17.9	17	22	36.3
16	99	27	51.3	17	20	43.0
17	99	31	18.5	17	23	43.0
18	99	33	42.6	17	28	32.8
19	99	34	46.1	17	27	32.4
20	99	37	27.5	17	26	18.4
21	99	38	6.3	17	26	39.0
22	99	39	14.1	17	29	20.4
23	99	40	44.1	17	31	43.6
1	99	42	40.6	17	33	12.2

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Chilpancingo pertenece al Organismo de Cuenca V “Pacífico Sur” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guerrero.

El acuífero se encuentra parcialmente vedado. La mayor parte de su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del *“Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de los Municipios de Acapulco, Coyuca de Benítez, Juan R. Escudero, San Marcos, Mochitlán y Chilpancingo; Gro”*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de febrero de 1975.

Este decreto se clasifica como tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

La porción no vedada del acuífero Chilpancingo, clave 1228, se encuentra sujeto a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”*, publicado en el DOF el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El principal usuario es el público-urbano. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos que cubran su superficie, únicamente se cuenta con uno realizado en el 2008 y algunos otros que contemplaron algunas actividades hidrogeológicas específicas. Existen otros trabajos con fines de exploración minera. A continuación, se presenta una breve síntesis de la información contenida en ellos, así como una descripción de la información que se utilizó para este trabajo.

**RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EN LA SIERRA MADRE DEL SUR DE MÉXICO, ENTRE CHILPANCINGO Y ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO**, elaborado por Zoltán De Cserna, para el Instituto de Geología, UNAM., Boletín No. 62, en 1965. Contiene una descripción de las condiciones geológicas imperantes en el área comprendida entre los poblados de Chilpancingo, Tierra Colorada y Acapulco, ubicados dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en la porción centro meridional del estado de Guerrero. Asimismo, se hace una descripción detallada de la estratigrafía de la región y se menciona cada una de las formaciones presentes en la región, así como las características de cada una de ellas.

**ESTUDIO GEOLÓGICO–ESTRUCTURAL Y DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA EN LA ZONA DE IGUALA–COCULA, ESTADO DE GUERRERO**, elaborado Exploraciones y Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geohidrológicos, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1987. El objetivo principal del estudio fue la realización de prospección geohidrológica para determinar y evaluar las condiciones geológicas que gobiernan la ocurrencia del agua subterránea, proponer un modelo hidrogeológico del área e identificar las zonas potencialmente atractivas para su exploración.

Entre las conclusiones más sobresalientes menciona que la zona del acuífero calcáreo se considera atractiva para perforar y contener agua de buena calidad, identificando como áreas favorables la porción norte del Anticlinal Apipilulco, así como al norte del Anticlinal Metlapa.

El primero de ellos presenta continuidad estructural, una amplia zona de recarga y no manifiesta superficialmente la presencia de yesos; el pozo exploratorio Apipilulco 2 perforado en esta estructura, presentó resultados positivos.

El Anticlinal Metlapa es de menor dimensión, presenta también continuidad estructural y no manifiesta la presencia de evaporitas.

Recomienda realizar estudios geológicos detallados en estas estructuras, así como campañas de exploraciones geofísicas con el método de sondeos eléctricos verticales para ubicar sitios adecuados para la perforación de sondeos exploratorios.

**MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE IGUALA, HUITZUCO, POLONCINGO, CHILAPA Y CHILPANCINGO, ESTADO DE GUERRERO**, elaborado por Laramide Ingenieros, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Regional Balsas, en 2005.

Este estudio tuvo como objetivos importantes llevar a cabo el censo de aprovechamientos, proponer la red de pozos piloto en cada uno de los acuíferos mencionados, realizar mediciones piezométricas y de parámetros hidrogeoquímicos con mediciones in situ (conductividad eléctrica, temperatura pH, etc.).

Entre sus conclusiones más importantes destacan que los principales acuíferos que se explotan actualmente se alojan en el subálveo de los ríos y no tienen continuidad hidrogeológica a lo largo de ellos, ya que descargan al entrar en barrancas labradas en rocas impermeables. Existen también pequeños acuíferos colgados constituidos por depósitos de aluviones y conglomerados arenosos; los manantiales representan una descarga parcial del acuífero regional en calizas y su presencia está asociada a cambios litológicos y a la presencia de fallas que captan flujos que circulan en el acuífero fracturado y lo transmiten hacia las zonas topográficamente bajas, en donde aflora la secuencia conformada por intercalaciones de lutitas y areniscas de baja permeabilidad.

**ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS ATOYAC Y CHILPANCINGO, elaborada por GEOPSA, S.A. DE C.V.**, para la Comisión Nacional del Agua, en 2008. Este estudio evaluó las condiciones geohidrológicas del acuífero para determinar su disponibilidad de aguas subterráneas.

Para cumplir con el objetivo planteado se llevaron a cabo las siguientes actividades: censo de aprovechamientos e hidrometría de agua subterránea, cálculo del volumen de extracción, piezometría, muestreo del agua subterránea, definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, ejecución e interpretación de pruebas de bombeo, realización de sondeos transitorios electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM's), nivelación de brocales, planteamiento del balance hidrometeorológico y de aguas subterráneas y determinación de la recarga media anual que recibe el acuífero. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que se analizan y discuten en los apartados correspondientes.

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

La superficie cubierta por el acuífero pertenece a la Provincia Fisiográfica denominada "Sierra Madre del Sur" (Raisz, 1964), Subprovincia Cuenca Balsas-Mezcala.

La Sierra Madre del Sur presenta una estructura compleja, se encuentra constituida por una serie de montañas y sierras que presentan desniveles considerables.

Es una cadena montañosa localizada en el sur de México que se extiende a lo largo de 1200 km desde el sur de Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec, al oriente de Oaxaca. Está orientada de manera paralela a la costa del Océano Pacífico y a la porción occidental del Eje Neovolcánico, del que está separada por la Depresión del Balsas.

Las grandes elevaciones del terreno se encuentran comúnmente coronadas o formadas en su totalidad por rocas calizas, cuerpos ígneos o rocas metamórficas de las formaciones Morelos, Alquitrán, Agua de Obispo y del Complejo Xolapa, entre las principales.

La Subprovincia Cuenca Balsas-Mezcala está conformada por “profundos y sinuosos valles a lo largo de los cuales los ríos Balsas y Tepalcatepec han ido labrando las sierras en algunas partes de 3,000 m de altura dándole a esta cuenca una topografía muy abrupta” (Raisz, 1964). En general presenta calizas y conglomerados en sus zonas más altas que muestran un aspecto redondeado; con drenaje ampliamente espaciado; mientras que, por otro lado, los valles, laderas y partes bajas están constituidas por lutitas, areniscas, limolitas y rocas ígneas que conforman lomeríos con pendientes muy suaves y con un drenaje bien desarrollado.

Las sierras bajas se encuentran constituidas por rocas suaves fácilmente erosionables que producen formas redondeadas con altitudes no mayores a 1500 msnm. Este tipo de rocas pertenecen a depósitos del Cretácico Superior y del Terciario, de las formaciones Balsas, Chilpancingo y Mezcala.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, el clima predominante en el acuífero varía de semicálido-subhúmedo a cálido-subhúmedo con abundantes lluvias en verano, en la porción central y centro-meridional se presenta una franja dominada por un clima semiseco muy cálido, también con abundantes lluvias.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 8 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Chilpancingo, Palo Blanco, Tixtla, Omiltemi, Colotlipa, Ayotzinapa, Ahuhuepan y El Coatepín.

Con los datos de las tres estaciones que tienen mayor influencia sobre la superficie del acuífero (Chilpancingo, Palo Blanco y Tixtla) las cuales tienen información que corresponde a 52, 27 y 33 años respectivamente, y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **1,035 mm** y **21.9° C**, respectivamente. Por otra parte, el valor medio de la evaporación potencial es de **2,300 mm** anuales.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 20 Río Papagayo, Subregión Costa Chica de Guerrero, cuenca del río Papagayo. En el extremo noreste del acuífero se origina el Río Huacapa con los escurrimientos originados en esta región, corre en dirección preferencial oriente-poniente hasta la presa “Tierras Prietas” en la cual se almacenan sus aguas durante la época de lluvias. Aguas abajo de ella, se forma con los escurrimientos de los arroyos y las descargas de aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, las cuales son conducidas a través de un canal revestido a lo largo de la zona urbana, en dirección NW-SE hasta la población de Petaquillas, lugar donde cambia su nombre por el de esta localidad y modifica su curso en sentido W-E para encajonarse en una cañada, salir del límite del acuífero y descargar sus aguas hacia el río Azul, afluente del río Papagayo, el cual descarga al mar en las inmediaciones del puerto de Acapulco.

Salvo la presa que almacena las aguas del río Huacapa, en el área no existe infraestructura hidráulica de importancia para aprovechar los recursos hídricos superficiales generados; solo algunos canales y acueductos que aprovechan las aguas de algunos manantiales y pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de Chilpancingo y poblaciones vecinas.

### **3.4 Geomorfología**

Desde el punto de vista geomorfológico, el área presenta sierras abruptas constituidas por rocas calizas y cerros redondeados conformados por rocas volcánicas. La red hidrográfica es de tipo dendrítico, en la que su corriente principal, es el río Huacapa-Petaquillas, que descarga sus aguas en el río Azul, afluente del río Papagayo. Tomando en cuenta lo anterior, la zona presenta un estado de madurez temprana. Los principales rasgos del relieve que presenta la zona están controlados por la litología, las estructuras geológicas y los agentes erosivos.

La expresión geomorfológica de la región está representada por sierras altas de pendiente abrupta y lomeríos redondeados, conformados principalmente por rocas sedimentarias. Uno de los fenómenos más importantes que afectan el relieve en esta región, es la disolución de rocas carbonatadas, proceso conocido como karsticidad. Las principales estructuras formadas por este proceso son las cavernas y grutas, en las cuales algunas tienen circulación de agua subterránea en forma permanente, así como la presencia de dolinas.

#### 4 GEOLOGÍA

La geología general está representada por un conjunto de rocas de origen sedimentario, ígneo y metamórfico (figura 2), se considera que la relación que guarda esta diversidad de rocas, asociadas a cada terreno tectonoestratigráfico, definen la evolución de los mismos dentro de un régimen de deformación compresiva.

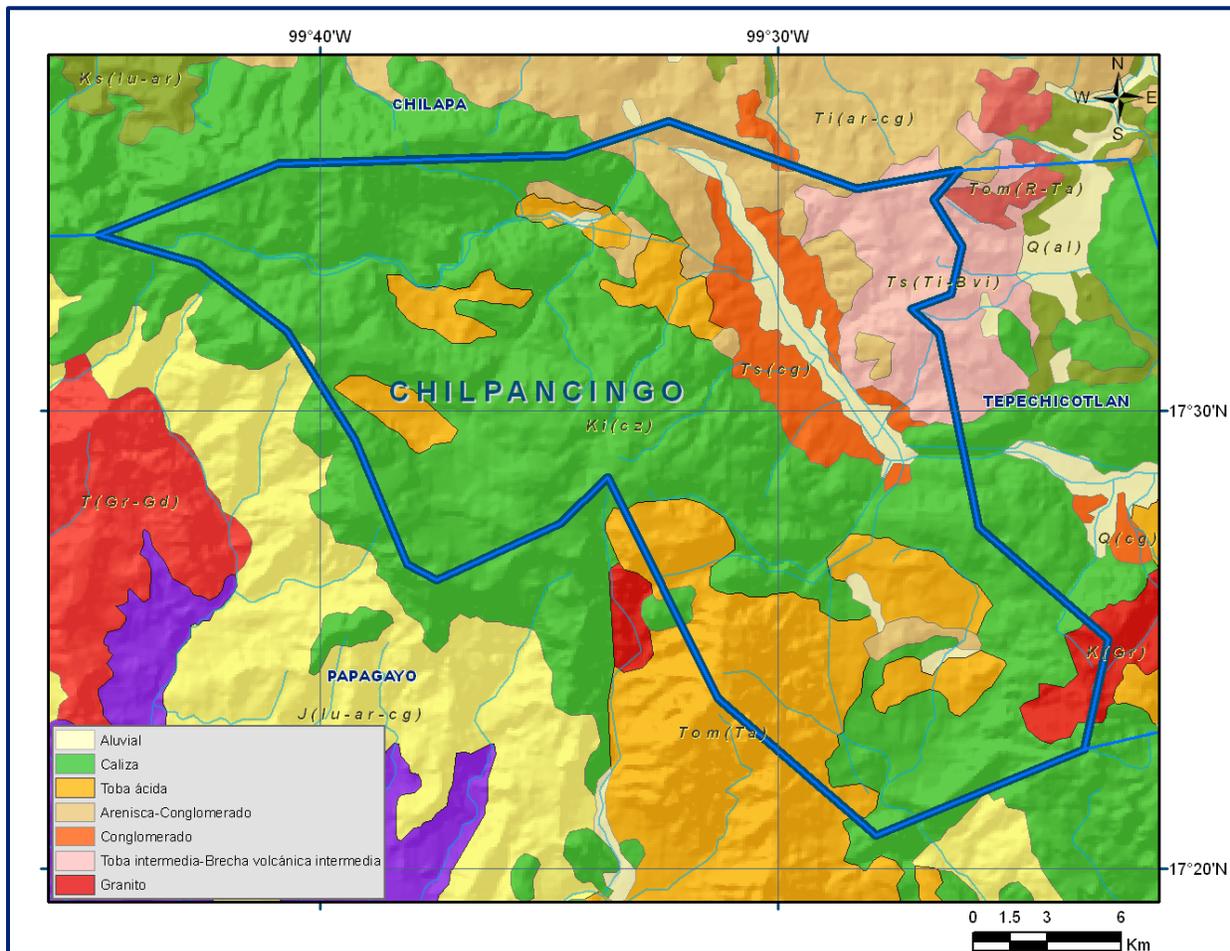


Figura 2. Geología general del acuífero

A nivel regional las rocas metamórficas son las de mayor antigüedad que conforman el basamento del Terreno Mixteco, sobre el cual se depositó una secuencia sedimentaria transgresiva (conglomerados, areniscas y lutitas) de edad paleozoica; posteriormente en el Mesozoico la sedimentación se tornó gradualmente calcárea hasta implantarse durante el Cretácico Inferior la vasta Plataforma Guerrero-Morelos, sobre la cual se depositaron secuencias carbonatadas de sub-ambientes de borde (arrecife), lagunares y restringida (evaporitas), interrumpidas por el depósito de una secuencia flysch durante el Cretácico Tardío.

Finalmente, la columna estratigráfica de este terreno se encuentra coronada por un flysch (areniscas y lutitas) del Cretácico Superior. Ambos terrenos se encuentran cubiertos discordantemente por rocas volcánicas y sedimentos de abanicos aluviales intercalados con materiales piroclásticos.

#### **4.1 Estratigrafía**

En el estado de Guerrero se observa un cambio importante en la conformación geológica regional, se presentan importantes secuencias carbonatadas, ampliamente distribuidas en la zona, con la presencia de algunos cuerpos intrusivos en la porción sur de acuífero. A nivel regional, el acuífero Chilpancingo pertenece geológicamente a la denominada Plataforma Guerrero-Morelos, conformada por rocas carbonatadas del Cretácico, sin aporte volcánico. A continuación, se describe la secuencia estratigráfica de las unidades geológicas que afloran en el área, de la más reciente a la más antigua.

##### **Formación Acahuizotla**

Está constituida por sedimentos calcáreo-arcillosos que afloran en localidades aisladas. Subyace en forma discordante a lutitas calcáreas de la Formación Acuitlapan del Neocomiano, ambas formaciones muestran el efecto de un metamorfismo regional. Se le asigna una edad correspondiente al Jurásico Superior.

##### **Formación Xochicalco**

Formada por una secuencia de capas delgadas de calizas que descansan sobre la Formación Acuitlapan. Posteriormente a su depósito ocurrió en la región un levantamiento que dio origen a la península de Taxco y a un periodo de erosión marcado por la presencia de discordancias, que ponen en contacto la Formación Xochicalco con diferentes horizontes de la Formación Morelos.

### **Formación Morelos**

Con este nombre (Fries 1960) define una secuencia de calizas y dolomitas, de edad Albiano-Cenomaniano, que aflora en los estados de Morelos, Guerrero y México, de color gris cremoso a negro, de textura que cambia de calcilutita a calcarenita, con presencia de nódulos de pedernal muy esporádicos. Los horizontes de caliza dolomítica se encuentran distribuidos irregularmente en toda la formación.

En el área del acuífero está constituida por una caliza que varía en color de gris claro a negro, con una textura que varía de calcilutita a calcarenita, de espesor mediano a grueso, con capas intercaladas de lutitas calcáreas delgadas de color pardo rojizo; presenta una gran cantidad de dolinas, originando una topografía kárstica. Pantoja y Fries 1959, por la presencia de *Toucasia* y *Actoeonella*, le asignan una edad Albiano Superior-Cenomaniano Inferior.

### **Formación Cuautla**

Con este nombre (Fries, 1956) designa a los extensos afloramientos de rocas calizas que se localizan entre las ciudades de Cuernavaca y Cuautla; en las que las facies de banco grueso de la Formación Cuautla son semejantes a las de la Formación Morelos que la subyace; en cuanto a su estratificación, estructura y textura; la diferencia notable se presenta en la escasez de dolomita y la resistencia a la erosión, debido al menor desarrollo de rasgos kársticos.

Las capas varían de gruesas a masivas, compuestas de calcilutita, calcilimolita y calcarenita, de color gris claro, con presencia de pedernal. Hacia el contacto con la Formación Morelos, se presentan capas de calcirudita que tienen localmente un color rojizo a amarillento; de estratificación mediana a delgada (30 a 10 cm), interestratificadas con capas de lutita calcárea de color pardo rojizo y escasos nódulos de pedernal negro. Thomas Bohnenberger (1955), y Mulleried (1950), por la especie *Durania Cornupastoris*, le asignan una edad correspondiente al Turoniano.

### **Formación Mexcala**

Thomas Bohnenberger (1955) y Fries (1960) proponen este nombre para designar a la sucesión de capas interestratificadas de areniscas, limonitas y lutitas calcáreas con escasos lentes de caliza clástica, que yacen sobre la Formación Cuautla. Muestra poca resistencia a la erosión y tiende a formar planicies bajas.

En el área, la litología de esta formación, presenta depositación normal, en su base estratos delgados de caliza, con capas interestratificadas de lutita, limonita, arenisca y un conglomerado de gravas. La caliza es arcillosa, de color gris oscuro a negro y textura fina, el espesor de las capas varía de un lugar a otro desde unos cuantos centímetros hasta un metro, su cima se presenta erosionada. R.W. Omlay del U. S. Geological Survey, por la presencia de pelecípodos *Didimotis* y *Aminitos Barroisiceras*, asigna una edad Coniaciano a la parte inferior de la secuencia.

### **Grupo Balsas**

Fries 1956 y Pantoja Alor 1959, le asignaron este nombre a una variedad de tipos litológicos locales, de espesor variable, que se presentan en la cuenca hidrológica del río Mezcala-Balsas. El grupo incluye rocas tan diversas como son yesos, conglomerado calizo, aglomerados, areniscas, tobas limolíticas y arcillas, así como brechas, tobas volcánicas y corrientes lávicas interestratificadas.

En la zona del acuífero, está constituido por conglomerados calizos, cementados por material limoso y arcilloso de color rojizo a pardo, interestratificado con areniscas, limonitas y lutitas de color rojizo, que contienen delgadas capas de yeso intercaladas.

El grupo se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Mezcala, con una inclinación moderada de 20° a 30°. Bohnenberger (1955) y Z. Cserna, en Fries (1956, le asignan una edad de fines del Eoceno a principio del Oligoceno.

### **Serie Volcánica Agua de Obispo**

Con este nombre Z. Cserna designa la serie de rocas piroclásticas que cubren discordantemente al Grupo Balsas, a lo largo de la carretera México-Acapulco, entre Chilpancingo y Ocotito; presenta un espesor de más de 500 m y ligera inclinación al NW.

En el área del acuífero, estas rocas se localizan entre Chilpancingo y Tixtla y al sur del poblado Petaquillas; está constituida por tobas y derrames de composición andesítica, de color de gris o morado claro, interestratificados con estratos de tobas híbridas, que constituyen la mayor parte de la formación. Por su posición estratigráfica, litología general y desarrollo geomorfológico, se considera que tiene

una edad correspondiente al Mioceno.

### **Formación Chilpancingo**

Ordoñez y Bosé (1899), determinan aproximadamente 200 m de conglomerados, areniscas, limonitas y arcillas, que constituyen una serie de abanicos aluviales, parcialmente disectados en el valle de Chilpancingo, que se depositaron en un gran lago que ocupó el valle. En su localidad tipo está constituida de conglomerados y limonitas en una matriz arcillosa, de color gris violáceo. Esta formación se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular al Grupo Balsas y a las unidades más antiguas, con una inclinación ligera al NW. Los fósiles que se han colectado de esta formación: *Planorbis*, *Cypris* y fragmentos de madera (Téllez Girón, en Fries 1960), sugieren una edad Mioceno-Plioceno y la correlacionan con la Formación Cuernavaca.

### **Aluvión**

Incluye depósitos aluviales acumulados en los valles debido a los agentes de intemperismo; está representado por depósitos de talud (fragmentos de caliza y material volcánico en una matriz arcillosa), así como depósitos aluviales, fluviales y de pie de monte.

## **4.2 Geología estructural**

De manera general, se puede establecer que las estructuras que prevalecen en las rocas de la región se originaron a partir de un régimen compresivo asociado con la margen pacífica, cuyos principales efectos causaron la deformación dúctil de la carpeta sedimentaria del Terreno Mixteco, así como la aloctonía y yuxtaposición de una carpeta de materiales vulcanosedimentarias depositada en otro ambiente geológico (Terreno Guerrero). Los principales elementos geológicos estructurales de la región están representados por anticlinales, sinclinales, fallas, fracturas, cabalgaduras y estructuras volcánicas. Las estructuras de deformación frágil están representadas por fallas de tipo normal y lateral.

Las fallas normales forman un sistema con dos direcciones NW-SE y NE-SW. Las fallas laterales pueden ser derechas e izquierdas, predominando las primeras, que presentan rumbo NE-SW. Estos elementos estructurales afectaron a la región en dos dominios fundamentales, uno estructuralmente alto al que se denomina Bloque Acahuizotla y otro estructuralmente bajo, Bloque Huitziltepec; ambos delimitados

por prominentes fallas normales.

El bloque Acahuizotla ocupa la porción sureste del área, está conformado principalmente por pliegues asimétricos, frecuentemente afectados por fallas normales paralelas a los ejes estructurales, así como algunas otras fallas que interrumpen su continuidad. Este bloque está constituido principalmente por rocas de la Formación Morelos, así como algunos afloramientos del Complejo Xolapa y de la Formación Chapolapa. El Bloque Huitziltepec ocupa la porción norte y la mayor parte del área, actúa como un bajo estructural constituido por pliegues anticlinales y sinclinales amplios, en general simétricos, excepto algunos recostados al poniente, localizados en el extremo noreste. Algunas fallas de tipo normal frecuentemente afectan los flancos de estas estructuras, formando grabens. Este bloque se encuentra constituido por rocas de la Formación Morelos, en sus facies calcáreas y evaporíticas.

#### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información litológica de la zona, cortes litológicos de pozos y los registros eléctricos realizados durante el estudio de 2008, se puede definir que el acuífero principal, en su porción superior, se encuentra alojado en la secuencia de sedimentos aluviales y fluviales que rellenan el valle; en tanto que su porción superior está conformado por calizas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución, que en superficie conforman las sierras que delimitan el valle. El espesor máximo de los sedimentos alcanza los 200 m, representa la unidad que actualmente se explota; sin embargo, los pozos perforados en las calizas en el acuífero vecino Tepechicotlán, han comprobado su potencial. Las barreras al flujo subterráneo están representadas por las rocas arcillosas de la Formación Mexcala, rocas volcánicas, intrusivas y metamórficas.

### **5 HIDROGEOLOGÍA**

#### **5.1 Tipo de acuífero**

En el acuífero Chilpancingo se reconocen dos zonas de explotación, una localizada en el valle de Chilpancingo-Petaquillas y la otra en el valle de Mazatlán, separadas por un pequeño parteaguas superficial localizado al norte de esta última población.

El acuífero es de tipo **libre** y está constituido, por una secuencia de materiales de tipo granular de origen sedimentario –gravas y arenas de grano medio a fino-, cuyo espesor varía de 10 m a 200 m, aumentando hacia el centro de los valles.

Debajo de estos sedimentos existen calizas y dolomías que pueden estar confinadas por las lutitas de la Formación Mexcala y las rocas volcánicas de la Formación Agua de Obispo.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

Como parte del estudio realizado en el 2008, se realizaron 5 pruebas de bombeo de corta duración y se recopilaron datos de otras realizadas tanto en este acuífero como en otros vecinos. En términos generales, las pruebas presentan algunas deficiencias; en primera instancia porque la gran mayoría de los pozos disponibles son poco profundos y se desconoce sus características constructivas, especialmente en cuanto a la ubicación de sus cedazos. De la interpretación de las pruebas de bombeo por métodos analíticos convencionales, se deduce que los valores de transmisividad varían en el rango de **0.12 a 63.0 X 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s**, con un valor promedio de **31.0 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s**, dependiendo de la granulometría de los depósitos donde se alojan los aprovechamientos.

Por tanto, se trata de un acuífero de capacidad transmisora de media a alta, derivada de la permeabilidad y espesor de los materiales granulares que lo constituyen. Considerando un espesor saturado promedio de 80 m, los valores de conductividad hidráulica varían de **1.5 x10<sup>-6</sup> a 7.9 x10<sup>-4</sup> m/s** (0.1 a 68 m/d). Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

## **5.3 Piezometría**

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

## **5.4 Comportamiento hidráulico**

### **5.4.1 Profundidad al nivel estático**

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2008, se observa que los valores varían de 2 a 20 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía hacia las estribaciones de las sierras que limitan los valles. En la porción central de la ciudad de Chilpancingo las profundidades al nivel estático entre 2 y 5 metros; en tanto que hacia el poblado Petaquillas oscilan entre 1 y 10 m. Al norte del relleno sanitario se identificó un pozo con profundidad al nivel estático de 20 m

(figura 3).

Por otra parte, hacia la zona del poblado Mazatlán, separado de los dos anteriores por un parteaguas topográfico, los valores registrados muestran que la profundidad al nivel estático oscila entre 1 y 2 metros; en la porción sur de la comunidad existen algunos manantiales.

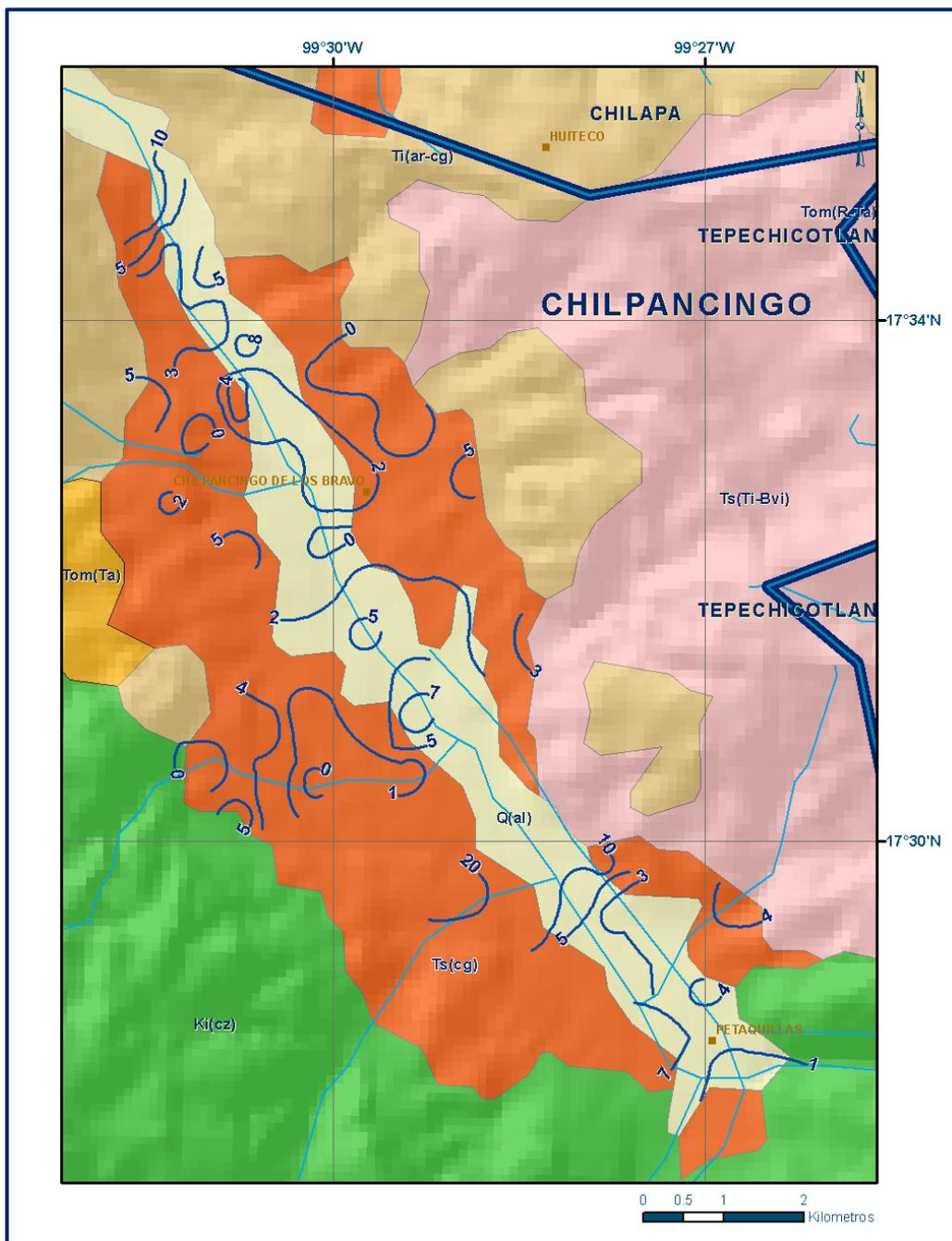


Figura 3. Profundidad al nivel estático en m (2008)

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

Los valores de elevación varían de 1400 a 1150 msnm; los valores más profundos se registran, por efecto de la topografía, en los flancos oriental y occidental del valle, desde donde descienden hacia la porción central. La dirección preferencial del flujo subterráneo es paralela al escurrimiento del río Huacapa y a la orientación del valle, NW-SE, alimentada por los flujos provenientes de las sierras calcáreas que constituyen los flancos oriental y occidental (figura 4).

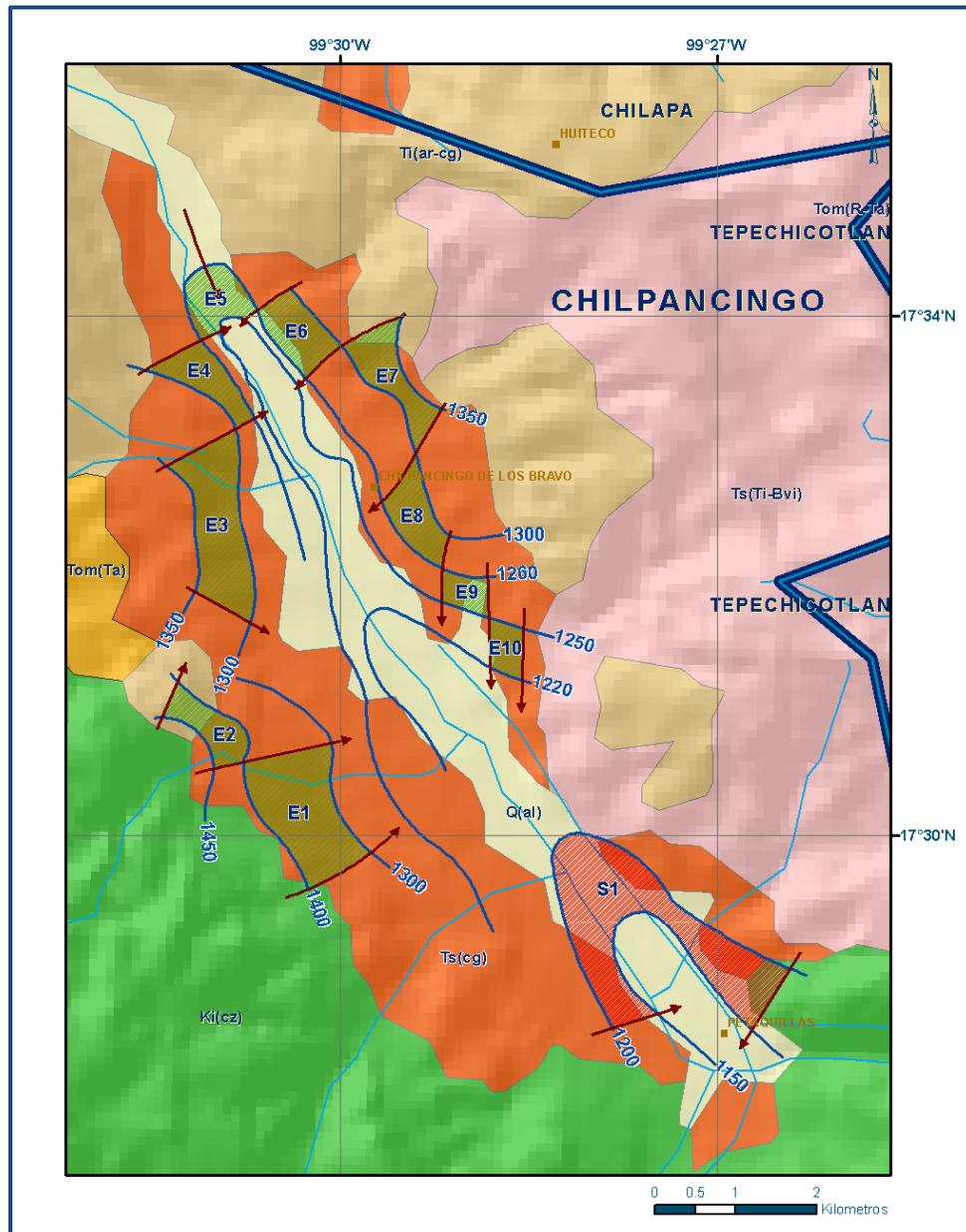


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

### **5.4.3 Evolución del nivel estático**

Respecto a la evolución de la zona, no existe información piezométrica histórica que permita elaborar la configuración de la evolución del nivel estático. La escasa información piezométrica puntual disponible, permite afirmar que los niveles del agua subterránea no registran variaciones importantes en el tiempo y que éstas se deben al efecto periódico de las temporadas de estiaje y lluvias.

Los valores de abatimiento son puntuales debido a la incipiente explotación del acuífero. Además, la configuración de elevación no muestra conos de abatimiento causados por la concentración del bombeo.

### **5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2008, se recolectaron en total 11 muestras de aguas subterráneas en pozos representativos de la zona, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones principales, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, oxígeno disuelto, nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, coliformes fecales y totales, entre otros.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 350 a 950 ppm, los cuales no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido la 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. de STD, con excepción de la zona nororiental de la ciudad de Chilpancingo, donde tres pozos presentan valores superiores a las 1,000 ppm, el valor máximo es de 1150 ppm.

La configuración de las curvas de igual valor de STD, muestra un incremento de poniente a oriente, mostrando valores de 500 ppm, en la porción occidental y ligeramente mayores de 1,000 en al oriente. En la porción sur de la ciudad de Chilpancingo se registraron valores de 350 ppm.

En la zona de Petaquillas se registraron valores máximos de 950 ppm, los cuales disminuyen hacia el oeste hasta alcanzar concentraciones de 400 ppm de STD.

Con respecto a las familias del agua de acuerdo los iones dominantes, tomando en cuenta los diagramas de Piper, predomina la familia cálcica-bicarbonatada, que representa agua de reciente infiltración, con periodos cortos de residencia, que han circulado a través de calizas.

## **6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2008, se registró un total de 150 aprovechamientos, la mayor parte de ellos corresponde a norias de bajo rendimiento que sólo operan algunas horas al día, ubicadas en los valles de Chilpancingo, Petaquillas y Mazatlán. La mayor parte de las norias se ubican en las márgenes del río Huacapa que cruza la ciudad de Chilpancingo.

Del total de obras, 17 son pozos, 117 norias y 16 manantiales, cuya clasificación por uso es la siguiente: 129 (86.0%) se destinan al uso doméstico- abrevadero, 8 más (5.3%) al abastecimiento de agua potable a los centros de población, 3 (2.0%) para uso agrícola y los 10 restantes (6.7%) son para el servicio de abastecimiento mediante pipas. En total el volumen de extracción por bombeo asciende a **9.9 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 3.8 (38.4%) se destinan al uso doméstico-abrevadero, 5.2 hm<sup>3</sup> más (52.5%) al abastecimiento de agua potable a los centros de población, 0.4 hm<sup>3</sup> (4.0%) para uso agrícola y los 0.5 hm<sup>3</sup> restantes (5.1%) para servicios. Adicionalmente, a través de los pequeños manantiales se descarga un volumen de 0.3 hm<sup>3</sup> anuales, que representan un caudal de 10 lps, que se destinan a los usos doméstico-abrevadero.

## **7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de agua subterránea se planteó para el año 2008, en una superficie de 46 km<sup>2</sup>, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa se expresa como:

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

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

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

## 7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga vertical ( $R_v$ ) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo ( $E_h$ ). De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas y de la red de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida ( $R_i$ ). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el volumen destinado al uso agrícola es pequeño, se considera que no existe recarga inducida. Por lo que  $R_i = 0$ .

### 7.1.1 Recarga vertical ( $R_v$ )

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta V$ ), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

$R_v$ = Recarga vertical;

$E_h$ = Recarga por flujo horizontal;

$B$ = Bombeo;

$S_h$ = Salidas por flujo horizontal;

$ETR$ = Evapotranspiración real;

$D_m$ = Descarga natural por manantiales;

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

De esta manera, despejando la recarga vertical (Rv) se obtiene la siguiente expresión:

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

### 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales. Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2008, mostrada en la figura 4.

Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

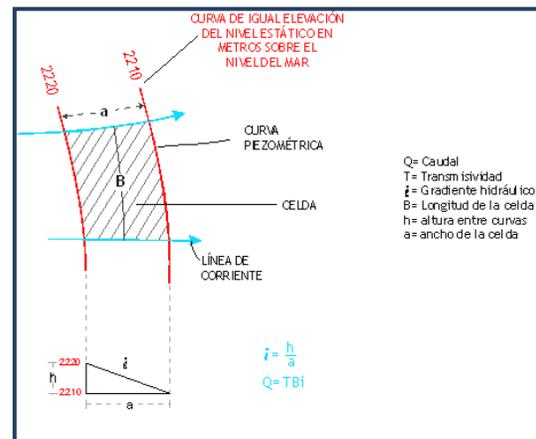
Donde:

**Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

**T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)

**B** = Longitud de la celda (m)

**i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total del flujo subterráneo 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 la suma total de **25.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 2 Cálculo de entradas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T ( $m^2/s$ )	CAUDAL Q ( $m^3/s$ )	VOLUMEN ( $hm^3/año$ )
E1	1300	960	100	0.1042	0.0010	0.1354	4.3
E2	580	550	50	0.0909	0.0010	0.0527	1.7
E3	1100	590	50	0.0847	0.0010	0.0932	2.9
E4	790	410	40	0.0976	0.0010	0.0771	2.4
E5	810	1200	10	0.0083	0.0020	0.0135	0.4
E6	685	790	40	0.0506	0.0020	0.0694	2.2
E7	1050	675	50	0.0741	0.0020	0.1556	4.9
E8	210	650	40	0.0615	0.0020	0.0258	0.8
E9	690	280	10	0.0357	0.0020	0.0493	1.6
E10	710	350	30	0.0857	0.0020	0.1217	3.8
<b>Total entradas</b>							<b>25.0</b>

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas subterráneas (Sh), evapotranspiración (ETR) y descargas naturales a través de manantiales (Dm).

### 7.2.1 Evapotranspiración real (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, se considera como pérdida agua 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) son parámetros utilizados para estimar la recarga potencial por infiltración.

A este respecto, de acuerdo con la Norma Oficial NOM-011-CONAGUA-2000, la descarga de agua subterránea por evapotranspiración, dada la dificultad de su cálculo, puede no ser estimada por separado y su valor quedará implícito en el resultado del balance. No obstante, se estimó la evapotranspiración real por medio del método de L. Turc, quien realizó un análisis estadístico de más de 200 cuencas en diferentes regiones climáticas, concluyendo que la evapotranspiración real, ETR, está dada por la expresión:

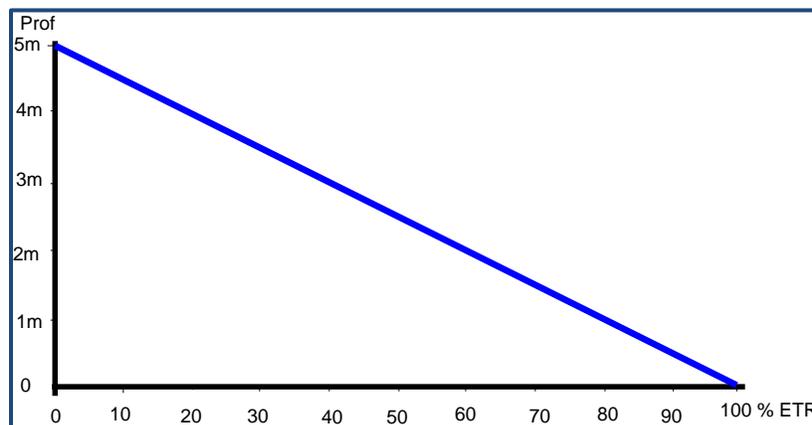
$$ETR (mm) = \frac{P (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2 (mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	21.9		
P(mm) =	1035	P <sup>2</sup> =	1071225
L =	1372.67295	L <sup>2</sup> =	1884231.03
ETR (mm)	854.1		

Sustituyendo los valores T= 21.9 °C y P = 1035 mm en las expresiones anteriores, se obtiene una lámina de ETR= 854.1 mm/año. El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR.

Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evapotranspiración se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el % que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior, a las diferentes profundidades consideradas, el cálculo se puede observar en la tabla 3. El valor de la evapotranspiración real calculado es de **13.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

Tabla 3. Cálculo de la Evapotranspiración real

Intervalo entre curvas (m)	profundidad media (m)	Area (km <sup>2</sup> )	% ETR	ETR (m)	Vol. ETR (hm <sup>3</sup> /año)
1 a 2	1.5	3.7	0.85	0.8541	2.7
2 a 4	2	8.2	0.7	0.8541	4.9
4 a 5	4.5	11.6	0.55	0.8541	5.4
<b>TOTAL ETR =</b>					<b>13.0</b>

### 7.2.2 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **9.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

El volumen de las salidas por flujo subterráneo se calculó de la misma manera que las entradas subterráneas, utilizando la configuración de elevación del nivel estático para el año 2008 (figura 4).

La descarga de agua subterránea se presenta hacia el acuífero Tepechicotlán, a través del estrecho cañón labrado por el cauce del río Huacapa, que conduce las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo. Su valor es de **4.6 hm<sup>3</sup>** y se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo horizontal

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h <sub>2</sub> -h <sub>1</sub> (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
S1	3500	1200	50	0.0417	0.001	0.1458	4.6
<b>Total salidas</b>							<b>4.6</b>

### 7.2.4 Descarga por manantiales (Dm)

En la zona se censaron 16 pequeños manantiales, cuyo caudal conjunto es de 10 lps, que equivalen a un volumen de **0.3 hm<sup>3</sup>/año**.

Hacia las zonas topográficamente más altas, en las inmediaciones de Chilpancingo, aparecen manantiales durante la época de lluvias. Sin embargo, no está registrado su caudal, son intermitentes, se localizan fuera del área de balance y tienen su origen en las calizas, por lo que no tienen conexión hidráulica con el acuífero granular que se aloja en el valle.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo determinado. Los escasos registros existentes se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Adicionalmente, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento causados por la concentración del bombeo.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento se considera nulo; es decir,  **$\Delta V(S) = 0$** .

#### **Solución de la ecuación de balance:**

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

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

$$\mathbf{Rv = 4.6 + 9.9 + 13.0 + 0.3 - 0.0 - 25.0}$$

$$\mathbf{Rv = 2.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

De esta manera la recarga total media anual (R) es igual a la suma de las entradas:

$$\mathbf{R = Rv + Eh}$$

$$\mathbf{R = 2.8 + 25.0}$$

$$\mathbf{R = 27.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$$

## 8 DISPONIBILIDAD

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

$$\text{DMA} = \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \quad (3)$$

Donde:

**DMA** = Disponibilidad media anual de agua subterránea del 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 **27.8 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Chilpancingo, su valor es de **4.9 hm<sup>3</sup> anuales**, que corresponden a la descarga natural por flujo subterráneo hacia el vecino acuífero Tepechicotlán y a la descarga de los manantiales.

### 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,143,129 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, de acuerdo con la expresión 3, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 27.8 - 4.9 - 2.143129 \\ \text{DMA} &= 20.756871 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **20,756,871 m<sup>3</sup> anuales.**

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 2008. Actualización Geohidrológica de los acuíferos Atoyac y Chilpancingo. Elaborado por GEOPSA, S.A. DE C.V.