



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL  
ACUÍFERO TLACOTEPEC (1207), ESTADO DE GUERRERO**

CUADRO DE MEXICO, 2024

## Contenido

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización .....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero .....	5
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>6</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima .....	7
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	8
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA .....</b>	<b>9</b>
4.1	Estratigrafía .....	11
4.2	Geología estructural.....	17
4.3	Geología del subsuelo.....	18
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
5.1	Tipo de acuífero.....	19
5.2	Parámetros hidráulicos.....	19
5.3	Piezometría.....	19
5.4	Comportamiento hidráulico .....	20
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 vertical (Rv) .....	22
7.2	Salidas .....	29
7.2.1	Bombeo (.....	29
7.2.2	Descarga por manantiales (Dm).....	29
7.2.3	Descarga natural por flujo base (Dfb).....	29
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>29</b>
8.1	Recarga total media anual (R) .....	30
8.2	Descarga natural comprometida (DNC) .....	30
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	30
8.4	Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).....	31
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</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 Tlacotepec, definido con la clave 1207 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción central del estado de Guerrero entre los paralelos 17° 27' y 18° 26' de latitud norte y los meridianos 99°44' y 100°25' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4,956 km<sup>2</sup> (figura 1).

Limita al norte con el acuífero Arcelia, al noreste y este con el acuífero Iguala; al sureste con los acuíferos Chilapa y Papagayo; al sur con Atoyac y Coyuca y al oeste con el acuífero Altamirano-Cutzamala, todos pertenecientes al estado de Guerrero

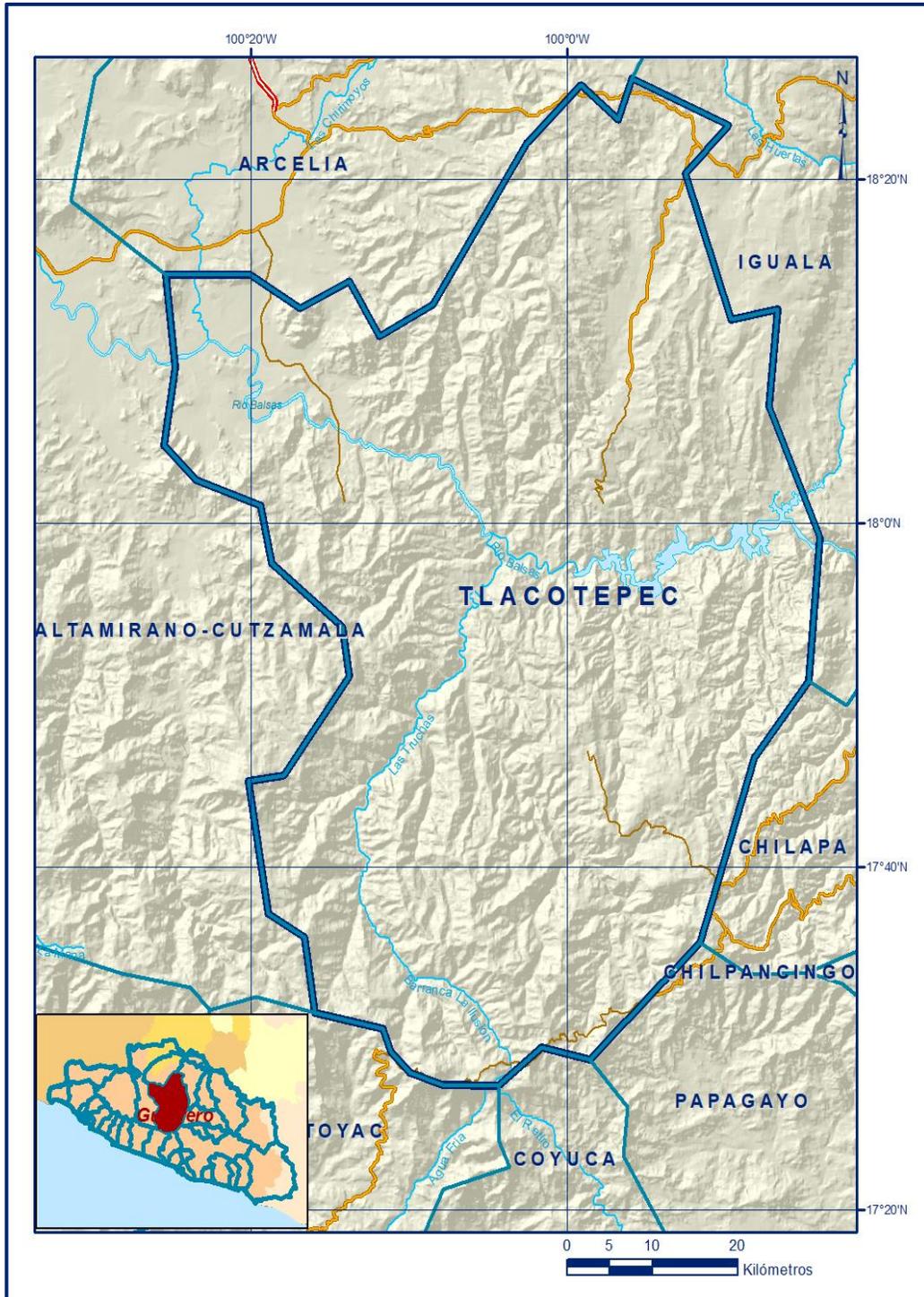


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente comprende en su totalidad la superficie de los municipios Apaxtla y General Heliodoro Castillo; parcialmente los municipios, Arcelia, Cuetzala del Progreso, Eduardo Neri, Leonardo Bravo, San Miguel Totolapan y Teloloapan, así como pequeñas porciones de Ajuchitlán del Progreso y Cocula.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1207 TLACOTEPEC						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	99	44	48.8	17	50	49.0
2	99	48	14.1	17	46	21.7
3	99	51	40.1	17	35	34.1
4	99	58	35.7	17	28	46.8
5	100	1	39.2	17	29	28.8
6	100	4	22.9	17	27	16.2
7	100	7	55.1	17	27	18.4
8	100	9	57.6	17	28	3.0
9	100	11	11.7	17	29	17.1
10	100	11	40.1	17	30	35.7
11	100	15	57.8	17	31	31.6
12	100	16	36.0	17	35	54.7
13	100	18	55.2	17	37	15.8
14	100	20	10.1	17	44	59.2
15	100	17	54.0	17	45	20.6
16	100	13	46.2	17	51	4.7
17	100	14	13.8	17	53	57.5
18	100	18	39.9	17	57	40.8
19	100	19	24.2	18	1	4.2
20	100	23	25.9	18	2	29.9
21	100	25	29.9	18	4	30.5
22	100	24	47.2	18	9	5.7
23	100	25	22.9	18	14	29.6
24	100	20	2.7	18	14	30.2
25	100	16	53.4	18	12	32.1
26	100	13	46.9	18	14	5.4
27	100	11	53.3	18	10	54.8
28	100	8	30.5	18	12	44.3
29	100	2	33.6	18	22	8.0
30	99	59	10.9	18	25	30.8
31	99	56	48.7	18	23	29.8
32	99	55	55.8	18	25	55.7
33	99	49	51.5	18	23	11.3
34	99	52	33.4	18	20	20.8
35	99	49	42.9	18	11	53.7
36	99	46	46.7	18	12	28.1
37	99	47	18.2	18	6	50.0
38	99	44	6.8	17	59	11.0
1	99	44	48.8	17	50	49.0

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Tlacotepec pertenece al Organismo de Cuenca Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guerrero. Su territorio se encuentra parcialmente vedado, sólo una pequeña área de su porción oriental se encuentra vedada y sujeta a la disposición del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos los Municipios de Iguala de la Independencia, Taxco de Alarcón, etc., Gro”* publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 20 de febrero de 1978. Esta veda se clasifica como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos.

La mayor parte de su superficie no está sujeta a ningún decreto de veda. La porción no vedada del acuífero Tlacotepec, clave 1204, se encuentra sujeta 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 Diario Oficial de la Federación 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 uso principal del agua subterránea es el público-urbano. El acuífero pertenece al Consejo de Cuencas “Río Balsas”, instalado el 26 de marzo de 1999. En la región noroeste de su territorio se localiza una pequeña porción del Distrito de Riego 057 “Amuco-Cutzamala”. A la fecha no se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que cubre el acuífero no se han llevado a cabo algunos estudios hidrogeológicos de evaluación. El único estudio en el acuífero se menciona a continuación:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS TLAPA-HUAMUXTITLÁN, POLONCINGO, BUENAVISTA DE CUÉLLAR Y TLACOTEPEC, EN EL ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por SANX Ingeniería Integral y Desarrollo S.A DE C.V., para la Comisión Nacional del Agua en 2011.**

El objetivo general de este estudio fue actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos, recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, nivelación de brocales, sondeos geofísicos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizarán en los apartados correspondientes.

### **3 FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

Fisiográficamente la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, Subprovincias Cuenca Balsas-Mezcala y Taludes Meridionales, en el límite con la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico (Raisz E., 1964). Al sur limita con la subprovincia Vertiente del Sur, perteneciente a la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur.

La Sierra Madre del Sur presenta una estructura compleja, se encuentra constituida por una serie de montañas y sierras que presentan grandes desniveles. Su representación dentro del área estudiada se manifiesta con una serie de prominencias topográficas que adquieren sus mayores elevaciones en la parte meridional, donde configuran barrancas y hondonadas, así como cimas que alcanzan altitudes mayores a 2,500 msnm.

Es una cadena montañosa localizada en el sur de México que se extiende a lo largo de 1,200 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 es separada por la Depresión del Balsas. El Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur se enlazan en el norte de Oaxaca, en el Escudo Mixteco. Su altitud media es de 2,000 msnm, el punto más alto es el cerro Quie Yelaag que está a una altura de 3,710 msnm, en el sur de Oaxaca.

En el occidente, esta sierra empieza como Sierra del Alo en los municipios de Tecalitlán y Pihuamo en Jalisco, posteriormente atraviesa Michoacán, donde se le conoce como sierra de Coalcomán. Después de cruzar el Río Balsas, entra al occidente de Guerrero donde se le conoce como Cumbres de La Tentación. Atraviesa todo Guerrero y en sus límites con Oaxaca es conocida como Sierra de Coicoyán. Es atravesada por numerosos ríos, los cuales forman profundos cañones, principalmente en Guerrero, donde las partes altas son conocidas como filos.

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 partes 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.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de climas según Köppen modificada por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes en el acuífero Tlacotepec se encuentran en el rango de cálido subhúmedo, semicálido, cálido y templado.

Para la determinación de las variables climatológicas, se cuenta con información de 5 estaciones climatológicas: Santo Tomás Arcelia, Teloloapan, Tlacotepec, San Miguel Totolapan y Nacintla, cuyo registro comprende el periodo 1953-2010. Con estos datos se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **1,185 mm** y **22.6 °C** respectivamente.

El régimen de lluvias cubre el período de mayo a octubre y la época de estiaje ocurre entre los meses de noviembre a abril. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,530 mm anuales**.

### **3.3 Hidrografía.**

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica No.18 Balsas, la mayor parte en la cuenca del Río Balsas-Mezcala y algunas pequeñas porciones en las cuencas de los Ríos Atoyac y otros, Balsas-Zirándaro y Papagayo. La cuenca del Río Balsas-Mezcala comprende el 6% de la masa continental del territorio mexicano a través de ocho estados: México, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Morelos, Guerrero, Michoacán y Jalisco.

Las principales corrientes dentro del acuífero son todos afluentes del Río Balsas, por su caudal los más importantes son los ríos Oxtotitlán y Chilapilla, además de varios arroyos entre los que se destacan Acatempan, Ahuehuetla, Huerta Grande, Barranca de La Fundición, Barranca del Pochote, Barranca de Tlatzala y Barranca de Cambaya. La red de drenaje es de tipo dendrítico y paralelo en las rocas vulcanosedimentarias, subdendrítico en las volcánicas y radial en las zonas afectadas por cuerpos intrusivos.

### **3.4 Geomorfología**

A nivel regional, es posible identificar 2 unidades geomorfológicas principales: Sierras Altas y Sierras Bajas. Las Sierras Altas comprenden la mayor superficie de la región, corresponden a una serie de edificios montañosos constituidos por rocas afectadas por un metamorfismo de bajo grado (facies de esquistos verdes) cuyo protolito son rocas sedimentarias y volcánicas, en ocasiones se presentan cubiertas por derrames volcánicos e intrusionadas por cuerpos porfídicos hipabisales, domos riolíticos y rocas graníticas.

Su origen es endógeno, conforma barrancas profundas, con laderas de pendientes mayores al 35% en donde las partes más accidentadas superan los 2,500 msnm, se asocian con el engrosamiento estructural de las rocas deformadas en las zonas de cabalgaduras, a la presencia de pliegues anticlinales y al emplazamiento de rocas intrusivas y volcánicas. Las Sierras Bajas están conformadas por una secuencia vulcanosedimentaria metamorfizada y rocas sedimentarias, caracterizadas por plegamientos y fallas de cabalgadura, estructuras que producen el engrosamiento estructural de la capas sedimentarias y una elevación del terreno.

Su origen es endógeno y está asociado con la deformación compresiva de las rocas; las sierras presentan un característico elongamiento en una dirección S-N y alcanzan elevaciones de 1,400 a 1,600 msnm. Presenta un drenaje que varía de dendrítico en las rocas arcillosas a subparalelo en las rocas metamórficas y calcáreas.

El factor litológico también tiene implicaciones directas con la presencia de los contrastes geomorfológicos: las rocas competentes (calizas, conglomerados, areniscas, andesitas y rocas metamórficas) tienen un comportamiento más resistente a los agentes erosivos y tienden configurar patrones de drenaje de tipo sub-paralelo y paralelo; en tanto que las rocas incompetentes (representadas por las secuencias tipo flysch de lutitas y areniscas, o bien, lutitas y margas), así como por la secuencia de tobas y materiales piroclásticos asociados con un vulcanismo explosivo (flujos de piroclastos, depósitos de caída); se encuentran bien caracterizadas por el desarrollo de un sistema de drenaje dendrítico, derivado de la gran facilidad con que son erosionadas.

Los sistemas de fracturas y fallas ejercen también una influencia dentro de la formación de depresiones, cañadas y barrancas derivados del rompimiento súbito de la continuidad longitudinal de fragmentos homogéneos y su disección lineal.

El paisaje geomorfológico que exhibe la región es consecuencia principalmente de las estructuras plegadas, que ocasionaron el engrosamiento estructural asociado con fallas de cabalgadura y pliegues anticlinales y sinclinales, en donde los altos topográficos (sierras) corresponden con cabalgaduras y anticlinales, y los bajos estructurales conforman valles y lomeríos que se alojan en los anticlinales.

#### **4 GEOLOGÍA**

La gran diversidad de rocas que están presentes en el sur de México, son reflejo de la complejidad estructural y estratigráfica que presenta la región, relacionada con su evolución tectónica en este sector del Estado de Guerrero.

Las diferentes unidades litológicas comprenden rocas metamórficas, sedimentarias marinas, tanto de plataforma como de cuenca, rocas ígneas extrusivas e intrusivas, las cuales en ocasiones se encuentran en contacto ya sea por medio de fallas de cabalgadura o bien por fallas laterales inversas, que le confieren una gran complejidad estructural. En la figura 2 se presenta la geología regional del acuífero.



## **4.1 Estratigrafía**

La secuencia estratigráfica que aflora en la región comprende un registro cuya edad varía del Jurásico al Reciente. La descripción de las diferentes unidades litológicas se presenta a continuación de las más antigua a la más reciente:

### **Jurásico. Subterreno Teloloapan**

#### **Esquistos Tejupilco**

Esta unidad fue propuesta por De Cserna (1982) al referirse a una secuencia vulcanosedimentaria con metamorfismo bajo (facies de esquistos verdes) constituida por pizarras, filitas y horizontes de calizas, cuyos afloramientos se encuentran extensamente distribuidos hacia el sector nororiental del acuífero.

Constituye el basamento y su edad está datada por radiaciones radiométricas en 227.5, 185.3 y 156.3 Ma. Se encuentran sobreyacidos por medio de una falla de cabalgadura por las rocas de la Formación Villa Ayala y a su vez están cubiertas por rocas riolíticas.

### **Cretácico**

#### **Formación Villa Ayala**

De acuerdo con Guerrero (1990) se encuentra constituyendo el macizo del arco volcánico de Teloloapan; consiste de una secuencia compuesta por flujos de lavas andesíticas, intercaladas con capas de espesor medio de areniscas (grauvacas) y estratos delgados de lutitas, materiales líticos que conjuntamente presentan metamorfismo regional de bajo grado en facies esquistos verdes.

Su edad se asigna al Valanginiano-Hauteriviano y se encuentran subyaciendo discordantemente a los Esquistos Tejupilco y a la vez están cubiertas concordantemente por las rocas de la Formación Acapetlahuaya.

#### **Formación Acapetlahuaya**

Fue propuesta por Campa (1979), se encuentra distribuida desde la porción centro-oriental hasta el límite sur este del área.

Está compuesta por una secuencia vulcanosedimentaria que consiste de tobas de composición andesítica y riolítica que llegan a interdigitarse con areniscas y calizas. Guerrero (1990.) reporta además la presencia de cuerpos de conglomerados, brechas volcánicas, grauvacas y pelitas intercalados con la secuencia de tobas.

Su espesor es desconocido y su edad se asigna al Aptiano, de tal forma que se correlaciona con el miembro El Cajón de la Formación Comburindio del Subterreno Huetamo-Arcelia. Se encuentra en contacto tectónico con las rocas de la Formación Miahuatepec, a las cuales sobreyacen por medio de una falla de cabalgadura.

### **Formación Amatepec**

Esta unidad marca el cambio hacia una sedimentación calcárea, pero en un ambiente de cuenca. Se encuentran distribuidas en afloramientos aislados en la parte centro oriental del área. Está constituida por una secuencia de intercalaciones de calizas, calizas arcillosas y lutitas dispuestas en estratos delgados, cuyo espesor se desconoce. Su edad se asigna un rango stratigráfico Aptiano Superior-Albiano.

### **Formación Teloloapan**

La Formación Amatepec muestra un cambio lateral de facies con esta formación que está constituida por calizas de ambiente marino somero de tipo arrecifal, definidas formalmente por Salinas (1994) como Formación Teloloapan, la cual se manifiesta en afloramientos aislados en forma de “parches” sin continuidad.

### **Formación Miahuatepec o Pachivia**

Calderón-García (1956) denomina informalmente a esta unidad. Constituye la interrupción de la sedimentación calcárea y está conformada por una secuencia tipo flysh, que consiste de intercalaciones rítmicas de areniscas y lutitas, con intercalaciones de tobas que evidencian actividad volcánica. Se encuentra distribuida en el extremo occidental, sobre una franja orientada en sentido sur a norte. Sobreyace por medio de una falla de cabalgadura a las rocas de la Formación Morelos, unidad que forma parte del Terreno Mixteco.

### **Terreno Mixteco**

#### **Formación Morelos**

Nombre propuesto por Fries (1960) para referirse a una secuencia de calizas de plataforma. De acuerdo con Campa (op. cit.), se caracteriza por estar conformada por calizas en estratos delgados con bandas y lentes de pedernal negro, bancos arrecifales y capas gruesas de calizas de color gris claro, crema y gris oscuro, las cuales en muchos casos tienden a formar biostromas, con predominio de rudistas. Su espesor es desconocido; sin embargo Tarango, (1973) midió 1,430 m, en tanto que Fries, (1960) reportó un espesor 900 m.

De acuerdo con su contenido faunístico, se le asigna una edad Albiano-Cenomaniano. Subyace por medio de un contacto concordante a las rocas de la Formación Mezcala y se encuentran cabalgadas por las rocas del Subterreno Teloloapan, por medio de un contacto tectónico.

Se correlaciona en edad con las formaciones Cipiapa y Orizaba de la porción central de Puebla, con la caliza El Doctor de Querétaro oriental, en el Estado de San Luis Potosí con las formaciones El Abra y Tamaulipas Superior (en la Sierra Madre Oriental).

### **Formación Mexcala**

Definida por Fries (1960), quien la describe como una secuencia de intercalaciones de lutitas calcáreas y areniscas, cuyos afloramientos se restringen al extremo suroeste, en donde se encuentra cabalgada por rocas calcáreas de la Formación Teloloapan.

Representa un flysh calcáreo que evidencia la interrupción del patrón de sedimentación de calizas de plataforma de la Formación Morelos, a la cual le sobreyace de manera concordante. Su espesor total se desconoce; sin embargo, en el valle de Iguala, se considera del orden de 200 a 400 m, mientras que al sur, Bonnenberger (1955) reportó una sección incompleta de 1,220 m en su localidad tipo.

Descansa sobre la Formación Cuautla en contacto transicional, aunque hacia el oriente, Pantoja-Alor (in Cserna *op. cit.*) reporta que descansa con ligera discordancia sobre la Formación Cuautla.

Su contacto superior es siempre en discordancia angular y/o erosional con rocas más jóvenes; le cubren indistintamente las formaciones Tetelcingo, Grupo Balsas y Oapan principalmente, así como aluviones y conglomerados recientes. Su edad parece tener límites variables dependiendo de la localidad. La base varía entre Turoniano Tardío y Coniaciano Temprano.

Se ha podido establecer que su alcance estratigráfico superior es más amplio de oriente a poniente, es decir que mientras al poniente se restringe al Coniaciano, en la parte central de la cuenca de depósito la acumulación continuó hasta el Maestrichtiano (Cserna *et. al., op. cit.*).

Esta relación puede indicar que la línea costera del Cretácico Tardío migró con el tiempo de oeste a este como consecuencia del levantamiento y la retirada de los mares hacia el oriente. Se correlaciona con la porción superior de la Formación Escamela Superior de la porción centro-oriental del Estado de Puebla; en la porción oriental de Querétaro y centro occidental de Hidalgo, y con la Lutita Méndez; al sureste de San Luis Potosí con la Formación San Felipe.

## **Cenozoico**

### **Grupo Balsas**

Nombre asignado por Fries (1960) para referirse a una secuencia continental constituida principalmente por conglomerados, areniscas, limolitas, calizas lacustres, flujos de lava y piroclásticos. que se presentan en la cuenca del Río Balsas. Aflora en el extremo centro oriental del acuífero, conformando un afloramiento aislado y localizado en una pequeña fosa tectónica.

Representa una sedimentación molasse postorogénica y está representada por una secuencia clástica continental formada por conglomerados polimícticos, de fragmentos de rocas volcánicas y calizas, intercalados con areniscas conglomeráticas y limolitas, todas ellas de color rojizo

.Los materiales finos se presentan en estratos delgados en tanto que los conglomerados se disponen en capas gruesas y bancos masivos. Campa (op. cit.) reporta que dada su naturaleza de relleno de valles-fosa, en algunos lugares se ha calculado un espesor de 500 m.

De acuerdo con las relaciones estratigráficas, Fries (op. cit.) establece una edad Eoceno Tardío-Oligoceno Medio; sin embargo, Ortega (op. cit.) con base en datación radiométrica obtenida en rocas de la Formación Telecingo, sugiere que se amplíe el alcance a Paleoceno-Oligoceno.

No se han encontrado fósiles en estas capas rojas, sin embargo, su edad se establece con base en su correlación con los conglomerados rojos de Guanajuato, en donde se fecharon los restos de un roedor del Eoceno Tardío-Oligoceno (Edwards, 1965 y Fries, et. al 1955). Se correlaciona con el Conglomerado El Morro, el Conglomerado Guanajuato, así como con las Formaciones Huajuapán, Yanhuatlán y Cuicatlán de Oaxaca.

## **Rocas ígneas Intrusivas**

### **Rocas Graníticas-Monzoníticas**

Estos cuerpos representan la actividad magmática que se manifestó durante el Cenozoico Inferior, los cuales se encuentran distribuidos de manera aislada en el extremo suroccidental del área y al suroriente y noroccidente, en donde están asociados con zonas de mineralización, en algunos distritos mineros.

En el subsuelo se considera que constituyen cuerpos de dimensiones batolíticas. De acuerdo al SGM (2000), la edad del emplazamiento de estos cuerpos es de 30 Ma (Eoceno-Oligoceno).

## **Rocas Ígneas Extrusivas**

### **Andesitas del Eoceno**

De acuerdo con el SGM (2000) el vulcanismo en la región se inicia en el Cenozoico (Eoceno) y se manifiesta de manera aislada hacia el extremo suroccidental del acuífero como coladas de lavas, asociadas con brechas volcánicas también de carácter andesítico.

Estas rocas son consideradas como producto de la actividad de la Sierra Madre Occidental, de tal forma se les ha considerado una edad Eoceno (CRM, 1998).

## **Rocas volcánicas del Eoceno-Oligoceno y Oligoceno**

Estas rocas se distribuyen en el acuífero tanto en la porción occidental como en su extremo nororiental; manifestando la continuidad de la actividad volcánica de la Sierra Madre Occidental en la región.

El vulcanismo continúa siendo de tipo andesítico presentándose en forma de derrames y brechas con algunos niveles dacíticos, esta secuencia se encuentra cubriendo de forma discordante la unidad basal de andesitas y simultáneamente se encuentran sobreyacidas por cuerpos tabulares de dacitas y riolitas, secuencia volcánica que hacia la cima varía a ignimbritas y riolitas. De acuerdo al SGM (2000), las edades reportadas para esta secuencia volcánica oscilan entre 33.4 a 14.1 Ma (Oligoceno-Mioceno). Las rocas de composición riolítica se conocen con el nombre de Riolita Tilzapotla, compuesta principalmente por lavas riolíticas asociadas a brecha tobáceas y tobas vitroclásticas.

## **Riolita Tilzapotla**

Con este nombre Fries se refirió a una secuencia de brechas riolíticas que afloran ampliamente en las cercanías de Tilzapotla, al sur del Lago Tequesquitengo y del Río Amacuzac. Sus afloramientos más extensos se presentan al norte y sur de Huitzuco, así como en las inmediaciones de Coacoyula. Su composición varía de riolita a riolacita. Presenta características que varían de un lugar a otro, siendo notable en todos ellos su carácter masivo.

En la zona de Huitzuco se presenta como una toba muy sana de color rosado que muestra ferromagnesianos y cuarzo en una matriz criptocristalina de feldespatos, de espesor masivo; presenta fracturamiento subvertical de orientación oriente-poniente. En otras localidades se presenta en forma de lavas y tobas de composición dacítica y riolacítica. Su espesor total es variable pero en su localidad tipo es del orden de 240 m.

Descansa sobre el Grupo Balsas en contacto aparentemente paralelo, aunque puede ser discordante. También descansa, en discordancia, sobre formaciones más antiguas (Morelos, Cuautla y Mexcala). A su vez está cubierta en discordancia, por la Formación Oapan y por materiales cuaternarios (aluvión y conglomerados).

Con base en edades radiométricas, Fries le asignó una edad de Oligoceno Tardío. Se correlaciona con la serie volcánica Xochitepec de la Cuenca de México, así como con el Grupo Pachuca y con las rocas volcánicas Las Espinas del Estado de Hidalgo.

## **Cuaternario**

### **Basaltos**

Se presentan localmente en forma de coladas hacia el extremo nororiente del acuífero, se consideran testigos de la actividad del Eje Neovolcánico Transmexicano cuya edad se le asigna al Holoceno.

### **Depósitos Aluviales**

Corresponden con sedimentos transportados por las principales corrientes fluviales y están constituidos por gravas y arenas, en menor proporción por limos y arcillas; también incluyen acarreos fluviales. Ocupan las partes topográficamente más bajas, rellenando valles o sobre el cauce de las principales corrientes superficiales. Su espesor alcanza hasta 30 m.

## **4.2 Geología estructural**

Los principales elementos geológico-estructurales están representados por anticlinales, sinclinales, fallas y fracturas. La foliación se caracteriza por el desarrollo de filosilicatos (sericita), ésta se observa principalmente en las porciones suroccidental, poniente y noroccidental.

Los pliegues y cabalgaduras presentan orientaciones diferentes, pero principalmente de rumbos: NE-SW, SSE-NNW y N-S. Algunos de los pliegues identificados son: el Anticlinorio de Tlacotepec, La Lagunita, Carrizalillo, Las Mesas, Las Palmitas y El Caracol.

Las cabalgaduras muestran una orientación sensiblemente N-S con desviaciones tanto al noreste como al noroeste, entre ellas destacan: Las Parotas, Los Amates, Palo Verde, San Antonio, El Amate, Nuevo Las Juntas, San Vicente Norte, Limón Real, Las Mesas, Amatitlán, Puerto Las Laderas, Zopilostoc, Barranca Las Nueces, Tlacotepec, Los Fresnos, Ahuejote, Barranca El Caracol, Tlacotenco, Puerto del Varal, Verde Rico, Corralitos y La Yerbabuena. El área ha sido afectada por sistemas de fallas laterales y normales de edades distintas cuya orientación ENE-WSW y otro sistema que presenta una orientación SSE-NNE. Están representadas por las fallas Los Amates, El Zapote, Nuevo Las Juntas, Limón Real, Cerro La Media Luna, Tlacotepec y Coatepec del Ocote entre otras.

El Terreno Guerrero (Subterreno Teloloapan) es producto del desarrollo de un arco de islas, evento que ocurrió durante el Jurásico Superior al Cretácico Inferior (Campa *et. al.*, 1983) iniciando con un vulcanismo submarino que originó grandes depósitos de lavas y brechas volcánicas de composición andesítico-basáltica, este evento se considera que principia durante el Neocomiano y continua hasta el Aptiano, durante este último periodo tiene lugar la destrucción del arco permitiendo el depósito de la secuencia vulcanosedimentaria. Posterior a este evento, durante el Aptiano y Albiano, se desarrolla una plataforma restringida donde se depositan calizas y lutitas, como un cambio lateral de facies, esta etapa de sedimentación continúa con el depósito de sedimentos siliciclásticos durante el Albiano hasta el Senoniano.

Al oriente del acuífero, durante el Albiano-Cenomaniano, tiene lugar el desarrollo de la Plataforma Morelos-Guerrero; representada por el depósito de potentes paquetes de caliza, este evento de sedimentación continuó con el depósito de un flysch que dio origen a la Formación Mezcala.

A finales del Cretácico y principios del Cenozoico se manifiesta la fase tectónica más intensa reconocida como Orogenia Laramide caracterizada por afectar a las unidades presentes en la zona con esfuerzos de tipo comprensivo, que permitieron la sobreposición de las unidades del Terreno Guerrero con las unidades de la Plataforma Morelos-Guerrero, provocando cinturones de pliegues y cabalgaduras, que en esta región muestran una vergencia al Este.

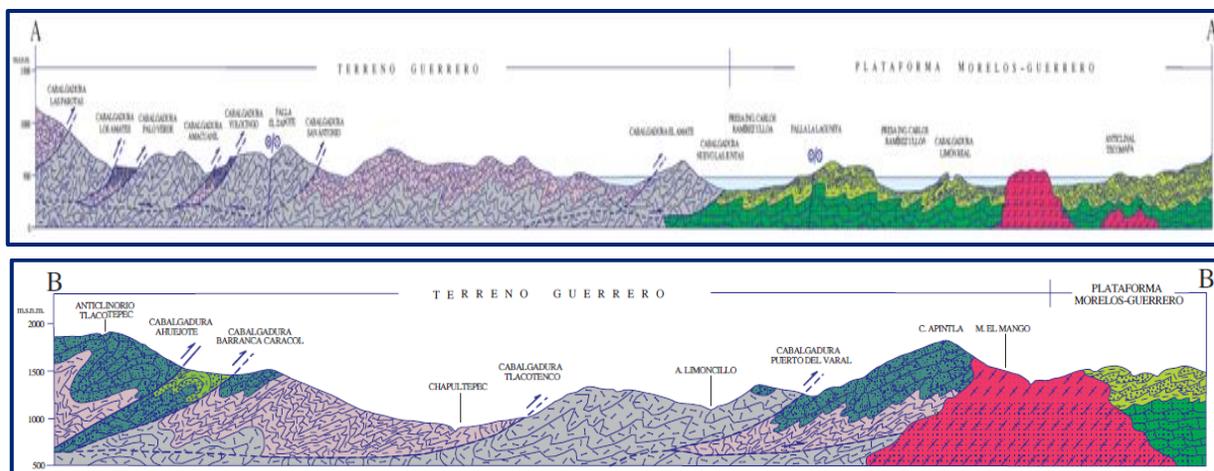
Las estructuras que prevalecen en las rocas se originaron a partir de un régimen compresivo asociado con la margen pacífica, que dentro de sus principales efectos muestra la deformación dúctil de la carpeta sedimentaria del Terreno Mixteco, así como la aloctonía y yuxtaposición de una carpeta de materiales vulcanosedimentarios depositados en los subterrenos Huetamo-Arcelia y Teloloapan (Terreno Guerrero).

#### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada que se encuentran restringidos a los cauces de los arroyos, así como en las tobas, areniscas y conglomerados polimícticos, que tienen varios cientos de metros de espesor hacia el centro de los valles.

Esta es la unidad que se explota principalmente para satisfacer las necesidades de agua de la región. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias marinas, representadas por las calizas y areniscas de las formaciones Morelos y Mezcala, respectivamente, así como rocas ígneas intrusivas y metamórficas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución en el caso de las calizas. Las rocas calcáreas pueden presentar condiciones de confinamiento y semiconfinamiento debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas y depósitos lacustres.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas, al desaparecer el fracturamiento a profundidad, y por rocas ígneas intrusivas y metamórficas (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera E14-C17 "Tlacotepec". Esc. 1:50,000 (SGM, 2006)  
Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 5 HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido, en su porción superior, en los sedimentos aluviales y fluviales de granulometría variada, así como en las areniscas, conglomerados polymícticos y tobas, que tienen varios cientos de metros de espesor hacia el centro de los valles.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas sedimentarias marinas, principalmente calizas y areniscas de las formaciones Morelos y Mezcala, respectivamente, y rocas ígneas intrusivas y metamórficas; todas ellas con permeabilidad secundaria por fracturamiento y disolución en el caso de las rocas calcáreas. Las rocas calcáreas pueden presentar condiciones de confinamiento y semiconfinamiento debido a que están sobreyacidas por lutitas y limolitas.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

En el área que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero, debido principalmente al escaso número y a las características de los aprovechamientos, la gran mayoría de ellos son manantiales.

### 5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en el

año 2011. La geología no permite identificar zonas importantes con potencial geohidrológico, además, la gran mayoría de los aprovechamientos censados son manantiales, que imposibilitan realizar las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático.

#### **5.4 Comportamiento hidráulico**

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático debido a que la gran mayoría de los aprovechamientos son manantiales. Además de la gran extensión superficial y las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Debido al escaso número de aprovechamientos subterráneos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

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

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2011, se recolectaron 15 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos (principalmente manantiales y algunas norias) en la zona para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyen parámetros fisicoquímicos, temperatura, iones principales y menores, conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), nitratos, dureza, sólidos totales disueltos (STD) y dureza total.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la modificación a 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

La concentración de STD presenta valores que varían de 162 a 3302 mg/l, sólo algunas muestras superan el límite máximo permisible de 1000 mg/l de STD que establece dicha NOM para el agua potable. Los valores de conductividad eléctrica

varían de 460 a 910  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ , los valores de temperatura de 20.8 a 25.9 °C y el pH de 6.5 a 7.4.

Con respecto a la dureza total, se registraron valores que varían de 120 a 1357 mg/l, que superan el límite máximo permisible de 200 mg/l que establece la norma mexicana referida. Estas concentraciones se deben al predominio de rocas calcáreas por las que circula el agua subterránea.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó la familia dominante bicarbonatada-cálcica-magnésica y en menor proporción la bicarbonatada-sódica, la primera representa agua de reciente infiltración con tiempos muy cortos de residencia, que han circulado a través de rocas carbonatadas y la segunda a través de rocas ígneas.

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

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el 2011, se registraron un total de 95 aprovechamientos en el acuífero: 76 manantiales, 16 norias y 3 pozos, todos ellos se encuentran activos.

El volumen total de extracción asciende a **2.3  $\text{hm}^3/\text{año}$** , de los cuales 2.26  $\text{hm}^3/\text{año}$  (98.3 %) es utilizado para uso público-urbano 0.04  $\text{hm}^3/\text{año}$  (1.7 %) es para usos doméstico y pecuario. Adicionalmente, a través de los 76 pequeños manantiales se descarga un caudal conjunto de 60 lps, que equivalen a **1.9  $\text{hm}^3$  anuales**.

## **7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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 del acuífero:

## Recarga total-Descarga total = Cambio de almacenamiento

### 7.1 Entradas

Las entradas al acuífero están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). Como se mencionó anteriormente, la gran mayoría de los aprovechamientos son manantiales; además, debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, sólo existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie total del acuífero que es de **4,956 km<sup>2</sup>** para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

#### 7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

$V_{LL}$  = Volumen de lluvia;

$V_{ETR}$  = Volumen evapotranspirado;

$V_{ESC}$  = Volumen escurrido;

$V_{INF}$  = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (4956 km<sup>2</sup>) por la lámina de precipitación media anual (1.185 mm):

$$V_{LL} = 4956 \text{ km}^2 (1.185 \text{ m}) = \mathbf{5872.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 1185 mm y temperatura de 22.6 °C. Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, define la siguiente expresión para la estimación de la evapotranspiración real:

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

T (°C) =	22.6		
P(mm) =	1185	P <sup>2</sup> =	1404225
L =	1442.1588	L <sup>2</sup> =	2079822
ETR (mm)=	944.2		

Donde:

**ETR**= Evapotranspiración real, en mm;

**P**= Precipitación media anual, en mm;

**L**= 300 + 25T + 0.05T<sup>3</sup>;

**T**= Temperatura media anual, en °C.

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una ETR > P y para estos caso se debe considerar a ETR = P

De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de 944.2 mm anuales.

Con base en esto se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **944.2 mm** anuales. El volumen evapotranspirado está dado por el producto del área y la lámina de evapotranspiración:

$$V_{ETR} = 4956 \text{ km}^2 (0.9442\text{m}) = \mathbf{4679.4 \text{ hm}^3/\text{año.}}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento. Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\begin{array}{cccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACION} & \\ \text{ESCURRIMIENTO} & = & \text{ANUAL DE LA} & \\ \text{NATURAL DE LA CUENCA} & & \text{CUENCA} & \text{AREA DE LA} & \text{COEFICIENTE DE} \\ & & & \text{CUENCA} & \text{ESCURRIMIENTO} \end{array}$$

El coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro  $K$  que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de  $K$  se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para  $K$ , el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que  $P$  es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000;$$

$$\text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$$

Donde:

**P**= Precipitación anual;

**Ce** = Coeficiente de escurrimiento anual;

**K** = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos Acrisol, Andosol, Cambisol y Regosol (figura 4).

En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 47 % de la superficie del acuífero esta cubierto por selva, en la que el suelo es tipo C, cubierta más del 75%, por lo que  $k=0.24$ ; 32.9% del acuífero presenta bosque, suelo tipo C, con cobertura mayor del 50 al 75%, por lo que  $k=0.26$ ; el área agrícola cubre un 13.7% de la superficie del acuífero, el suelo es de tipo B con una  $k=0.28$  y el 6.4% de la superficie del acuífero está cubierto por pastizal, en los que el suelo es tipo C, con cobertura más del 75% por lo que  $k=0.28$ .

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.47) + 0.26 (0.329) + 0.28 (0.137) + 0.28 (0.064) = \mathbf{0.2546}$$

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.2546, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

$$C_e = 0.1888$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$V_{ESC} = 0.1888 (5872.9 \text{ hm}^3) = \mathbf{1108.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \\ V_{INF} &= 5872.9 - 4679.4 - 1108.8 \\ V_{INF} &= \mathbf{84.7 \text{ hm}^3/\text{año}} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado , entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 5872.9 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.014

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 84.7 hm<sup>3</sup>/año en los 4956 km<sup>2</sup> de área del acuífero.

Por lo que la **Rv = 84.7 hm<sup>3</sup>/año.**



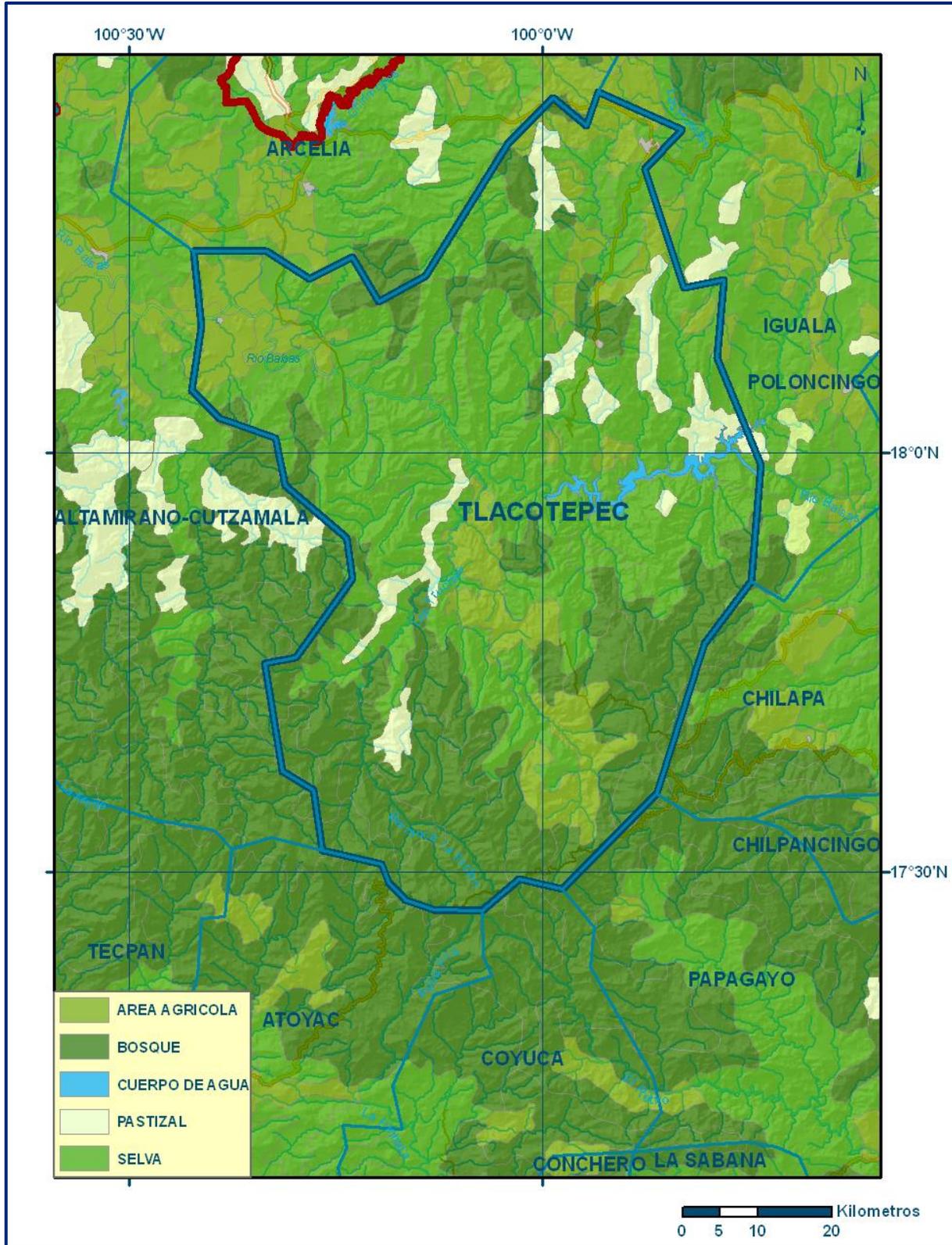


Figura 5. Uso de suelo

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), descarga a través de manantiales (Dm) y el flujo base en los ríos (Dbf).

### 7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **2.3 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo realizado en el 2011, se identificó la existencia de 76 manantiales de escaso caudal dentro de la zona, que en conjunto descargan 60 lps, que equivalen a **1.9 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.3 Descarga natural por flujo base (Dfb)

Para la estimación de esta componenete se consideró la información de las estaciones hidrométricas 18448 “El Caracol” y 18552 “Coyuca de Catalán” en el periodo 1978-1989.

Debido a que en esta última estación se mide el caudal proveniente de una superficie que se encuentra fuera del área del acuífero, a su caudal medio anual se le restó el que corresponde a la estación “El Caracol”.

Con estos datos se contruyó el hidrograma y mediante el método gráfico se obtuvo un caudal base de 940 lps que equivalen a **29.6 hm<sup>3</sup> 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:

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

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 **84.7 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 Tlacotepec, su valor corresponde a **31.5 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 29.6 hm<sup>3</sup> corresponden al flujo base de los ríos Chilapilla y Oxtotitlán y 1.9 hm<sup>3</sup> a la descarga a través de manantiales. **DNC = 31.5 hm<sup>3</sup>/año**.

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

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,726,908 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 aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 84.7 - 31.5 - 2.726908 \\ \text{DMA} &= 50.473092 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **50,473,092 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2011. Estudio Geohidrológico para Determinar la Disponibilidad de los Acuíferos Tlapa-Huamuxtitlán, Poloncingo, Buenavista de Cuéllar y Tlacotepec, en el Estado de Guerrero. Elaborado por la empresa SANX Ingeniería Integral y Desarrollo, S. A. de C. V. (SIIDSA).