



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO PALENQUE (0701), ESTADO DE  
CHIAPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. GENERALIDADES.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| Antecedentes.....   | 2         |
| 1.1. Localización.....  | 2         |
| 1.2 Situación administrativa del acuífero.....                | 4         |
| <b>2.- ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....</b> | <b>5</b>  |
| <b>3.- FISIOGRAFÍA.....</b>                                   | <b>5</b>  |
| 3.1. Provincia fisiográfica.....                              | 5         |
| 3.2. Clima.....   | 6         |
| 3.3. Hidrografía.....   | 6         |
| 3.4. Geomorfología.....                                       | 8         |
| <b>4. GEOLOGÍA.....</b>                                       | <b>8</b>  |
| 4.1. Estratigrafía.....                                       | 10        |
| 4.2. Geología estructural.....                                | 14        |
| 4.3. Geología del subsuelo.....                               | 14        |
| <b>5.- HIDROGEOLOGÍA.....</b>                                 | <b>15</b> |
| 5.1.-Tipo de acuífero.....                                    | 15        |
| 5.2. Parámetros hidráulicos.....                              | 15        |
| 5.3. Piezometría.....   | 16        |
| 5.4. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....      | 16        |
| 5.5. Comportamiento hidráulico.....                           | 17        |
| <b>6.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>                 | <b>17</b> |
| <b>7.- DISPONIBILIDAD.....</b>                                | <b>22</b> |
| 7.1 Recarga total media anual (R).....                        | 22        |
| 7.2 Descarga natural comprometida (DNC).....                  | 22        |
| 7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....   | 23        |
| 7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)..... | 23        |
| <b>8.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                  | <b>24</b> |

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1. Localización**

El acuífero Palenque, definido con la clave 0701 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Chiapas y cubre una superficie aproximada de 3,170 km<sup>2</sup>. Está representada por la clave geohidrológica CHA01.

Limita al norte con el acuífero Los Ríos, al noroeste con los acuíferos Macuspana y La Sierra, y al noreste con Boca del Cerro, todos ellos dentro del estado de Tabasco.

Al sur con los acuíferos, La Sierra y Ocosingo, este último dentro del estado de Chiapas (Figura 1).

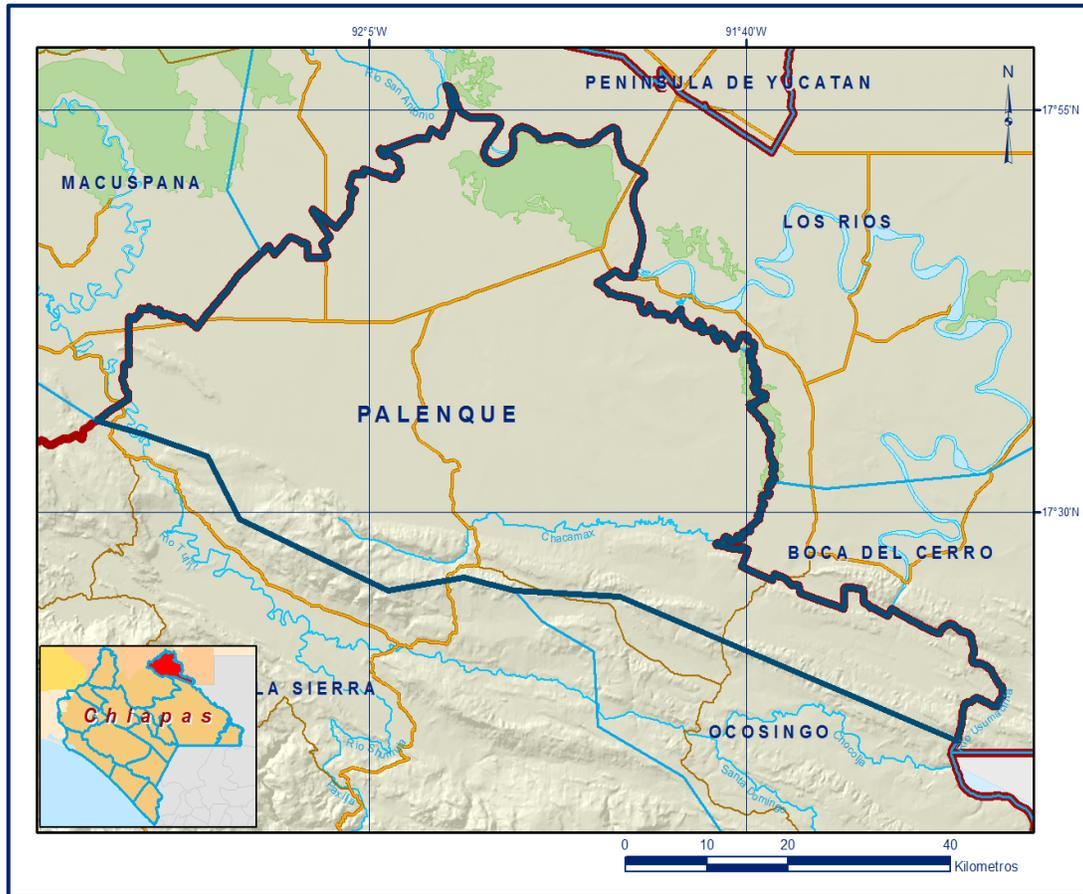


Figura 1.- Localización del acuífero

Geográficamente se localiza en la porción septentrional del estado de Chiapas, límite con el estado de Tabasco.

La infraestructura carretera es escasa, destacando solamente la carretera Federal No.199, que parte de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, hacia el norte atravesando la Sierra de Chiapas, comunica las poblaciones de Ocosingo, Palenque y Catazajá.

Además de la infraestructura carretera existen numerosos caminos vecinales de terracería que comunican a los centros de población.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

| ACUIFERO 0701 PALENQUE |                |         |          |               |         |          |                                    |
|------------------------|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|------------------------------------|
| VERTICE                | LONGITUD OESTE |         |          | LATITUD NORTE |         |          | OBSERVACIONES                      |
|                        | GRADOS         | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS        | MINUTOS | SEGUNDOS |                                    |
| 1                      | 91             | 48      | 24.8     | 17            | 24      | 42.6     |                                    |
| 2                      | 91             | 55      | 23.3     | 17            | 25      | 5.6      |                                    |
| 3                      | 91             | 58      | 44.9     | 17            | 25      | 56.6     |                                    |
| 4                      | 92             | 3       | 48.4     | 17            | 25      | 5.6      |                                    |
| 5                      | 92             | 13      | 39.2     | 17            | 29      | 34.4     |                                    |
| 6                      | 92             | 15      | 44.3     | 17            | 33      | 28.4     |                                    |
| 7                      | 92             | 19      | 52.2     | 17            | 34      | 47.1     |                                    |
| 8                      | 92             | 23      | 7.8      | 17            | 35      | 40.2     | DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL   |
| 9                      | 92             | 12      | 12.1     | 17            | 46      | 6.4      | DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL  |
| 10                     | 91             | 38      | 11.9     | 17            | 31      | 54.0     | DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 11                     | 91             | 25      | 58.8     | 17            | 15      | 44.2     |                                    |
| 1                      | 91             | 48      | 24.8     | 17            | 24      | 42.6     |                                    |

Políticamente el acuífero abarca de forma parcial los municipios Salto de Agua y Palenque, de donde toma su nombre, y cubre totalmente los municipios de Catuzajá y La Libertad.

Las principales actividades a las que se dedica la población económicamente activa son en primera instancia la ganadería, la actividad que le sigue en importancia es la agricultura, siendo ésta de régimen temporal en las zonas alejadas a los arroyos y ríos. Los principales cultivos son maíz, sorgo, frijol y hortalizas.

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

Administrativamente los acuíferos del estado de Chiapas se encuentran dentro de la región hidrológico-administrativa número XI Frontera Sur, por lo que el acuífero Palenque pertenece a esta misma.

La Región XI Frontera Sur se localiza en el sureste de la República Mexicana y comprende los estados de Chiapas y Tabasco, tres municipios de Oaxaca (San Pedro Tapanatepec, Chahuites y San Francisco Ixhuatán) y el municipio de Palizada en Campeche. Su extensión territorial es de 103,480 Km<sup>2</sup> y representa el 5.3% del territorio nacional. Sus coordenadas extremas son las siguientes: al norte los 18°39' y al sur los 14°32' Latitud Norte; al extremo oriente se ubica en los 90°22' y al oeste en los 94°38'. Cuenta con abundantes recursos naturales y una compleja orografía que ha dificultado a través del tiempo su integración al desarrollo del resto del país. Se encuentra en vigor en la zona el decreto de veda tipo I "Río Grijalva", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de octubre de 1957.

No se tiene conocimiento de organizaciones de usuarios de agua subterránea, ni de distritos o unidades de riego, probablemente debido a la abundancia de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

El uso de agua subterránea en el acuífero de Palenque queda definido únicamente por el uso público urbano, registrando un volumen del orden de 0.27 Mm<sup>3</sup> al año.

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

No se tiene información de estudios geohidrológicos realizados en esta zona, sin embargo, se pudo recopilar información geológica a través de informes de carácter geológico-petrolero, de los cuales se obtuvieron las columnas estratigráficas de la zona de estudio.

## **3.- FISIOGRAFÍA**

### **3.1. Provincia fisiográfica**

El estado de Chiapas muestra en su expresión superficial relieves planos que van desde el nivel del mar en la Costa de Chiapas, hasta elevaciones abruptas de 4,000 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las Montañas del Norte y Sierra Madre de Chiapas. De acuerdo con la clasificación de provincias fisiográficas de E. Raíz (1954 y 1964), el estado de Chiapas se encuentra dentro de las provincias fisiográficas siguientes:

La región de Tierras Altas de Chiapas y Guatemala, la cual enmarca casi la totalidad del estado, limita al norte con las provincias de la Planicie Costera del Golfo y la de Yucatán; el oeste con la Provincia de la Sierra Madre del Sur; internándose al sur en la República de Guatemala. Ésta, a su vez, se conforma por las siguientes subprovincias: La Planicie Costera del Pacífico, La Sierra de Chiapas, La Depresión Central, Los Altos (meseta de Chiapas) y las Sierras Plegadas del Norte.

Específicamente la zona donde se encuentra el acuífero pertenece a la subprovincia Llanuras y Pantanos Tabasqueños perteneciente a la provincia Planicie Costera del Golfo, la cual se localiza al norte de la subprovincia Sierra de Chiapas. Esta zona se caracteriza por el predominio de tierras bajas y pantanosas, con algunos lomeríos y cauces temporales, meandros abandonados y lagunas de poca profundidad, rasgos característicos que denotan una llanura de inundación en su etapa senil.

Afloran rocas de edad terciaria a reciente, constituidas por arenas de grano grueso a fino interestratificadas con arcillas de origen marino, aluvial y lacustre.

### **3.2. Clima**

Geográficamente el estado de Chiapas queda comprendido dentro de la zona tropical, presentando de acuerdo con su configuración orográfica una gran variedad de climas que van desde el templado subhúmedo a cálido húmedo con lluvias registradas en todo el año. Con el fin de conocer las características atmosféricas de la zona de Palenque, se recopilaron datos climatológicos en el Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones que se encuentran emplazadas en la zona de interés.

Particularmente dentro del acuífero de Palenque se localizaron las estaciones Climatológicas: Bajada Grande (1973 a 1978), Kilómetro 336 (1963-1996) y Palenque (1927-1973). La temperatura oscila entre los 23 y los 29° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de diciembre a febrero, mientras que las temperaturas más altas se registran a mediados del segundo trimestre. Siendo el mes de mayo el que registra la mayor temperatura, especialmente en la estación de Palenque.

La precipitación media anual de la región es superior a los 1,800 mm, arriba del promedio nacional. La distribución estacional muestra que durante la temporada de lluvias, que dura 5 meses, de junio a octubre, periodo donde se concentra la mayor parte de la precipitación, alcanzando valores mensuales de hasta de 490 mm mientras que durante el estiaje la lluvia disminuye considerablemente.

Con respecto a la evaporación existente dentro de la zona se puede observar que las estaciones muestran durante todo el año una continua evaporación con valores acumulados al año que superan los 1,000 mm. Con valores mensuales que van de los 50 hasta los 150 mm, que presentan una relación directa.

### **3.3. Hidrografía**

La hidrografía del estado y de todo el sureste mexicano es un sistema muy complejo, por sus dimensiones y por sus características topográficas muy accidentadas en las partes altas. En el estado de Chiapas se complementa la Cuenca Hidrológica del Grijalva- Usumacinta con el río Mezcalapa que nace en la vertiente del macizo de Chiapas en su porción noreste, la que está integrada por una gran cantidad de tributarios que se abastecen principalmente del río Grande de Chiapas y aguas provenientes de la Presa Netzahualcóyotl, para abandonar el estado con dirección al Golfo de México.

Particularmente en el acuífero de Palenque, la principal corriente que existe es el río Chacamax, que nace en los límites de la Sierra de Chiapas, a unos 25 km al sureste de la comunidad de Palenque, sigue con un rumbo E-W por 45 km, paralelo a la sierra, hasta el límite con el estado de Tabasco, en las inmediaciones de Tenosique, donde cambia de dirección hacia el noreste. Cabe señalar que existen varias corrientes superficiales de menor importancia en toda la zona.

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, la Unidad Hidrogeológica Palenque se localiza dentro de la denominada Región Hidrológica No. 30, Grijalva- Usumacinta. Siendo esta región la más extensa del estado de Chiapas, abarca la porción central de la entidad y cubre aproximadamente un 80% de su territorio. En ella se encuentran las cuencas de los ríos más importantes de la zona, que drenan la superficie de la entidad directamente al Golfo de México. Se encuentra limitada al Sur por la Región Hidrológica No. 23 Costa de Chiapas, y al norte por la Región Hidrológica No. 29 Coatzacoalcos.

La Región Hidrológica No. 30, se subdivide en tres subregiones que son: la 30-A, Alto Grijalva; la 30-B, Bajo Grijalva y 30-C, Usumacinta. De acuerdo con lo anterior, se puede observar que la Unidad Hidrogeológica Palenque se encuentra incluida dentro de la Subregión denominada Usumacinta 30-D, Río Candelaria.

La cuenca a la que pertenece el Acuífero de Palenque es la denominada Río Usumacinta, este río es el más grande de México, dos corrientes concurren para darle origen: el río Salinas y el río de La Pasión a los que en su trayecto se les une el río Lacantún. Este río marca la frontera entre Guatemala y México durante un largo trecho.

El Alto Usumacinta recorre 200 Kilómetros a partir de la unión del Salinas y La Pasión; en su margen izquierda se encuentran los desfiladeros que el río abrió entre las montañas hasta Boca del Cerro, a 12 Km de Tenosique, imponente acantilado de casi 300 m de altura que encajona por ambos lados el curso del río.

El bajo Usumacinta comienza en Boca del Cerro y recibe 60 Km después de Tenosique al más caudaloso de sus afluentes: el San Pedro, procedente del Petén Guatemalteco. Después de la comunidad de Jonuta, se le desprende el río San Pedro y San Pablo, que sirve de límite entre Tabasco y Campeche, hasta desembocar en el Golfo de México por la Barra de San Pedro.

### **3.4. Geomorfología**

Geomorfológicamente el estado de Chiapas forma parte de las cadenas frontales septentrionales de la provincia conocida como Sierra Madre de Chiapas, la cual constituye el límite austral de la llamada Costera del Golfo de México. Se puede dividir en dos porciones; la primera que abarca desde la parte central y oriental, y que en términos generales corresponde a una zona abrupta cuyo relieve está en función directa de su litología, así como por las estructuras geológicas predominantes; las areniscas, conglomerados y calizas que conforman elevaciones de flancos escarpados con alturas que no exceden los 600 metros sobre el nivel del mar; también se presentan terrenos poco accidentados que por lo general, solo afloran hacia la parte más occidental.

La segunda unidad geomorfológica está conformada por la sierra cristalina, ésta comprende una serie de elevaciones topográficas que se presentan en una gran extensión de la parte sur y suroeste de la zona. En conjunto presenta una orientación NW-SE, y formas ligeramente redondeadas. El flanco NW de las sierras descende con una pendiente relativamente suave, a diferencia del flanco SW que se presenta más abrupto lo que da idea de la existencia de bloques afallados. Las rocas que constituyen esta zona son de composición granítica y edad paleozoica.

La zona donde se encuentra el acuífero Palenque, se presenta superficialmente como un valle localizado en zonas bajas generalmente cubiertas por sedimentos aluviales, los cuales presentan ciertas ondulaciones y abundantes cerros testigos de diferentes episodios tectónicos, drenado por el río Chacamax, en esta zona también se aprecian algunos lomeríos y mesetas de pequeñas dimensiones constituidas por rocas, cretácicas y volcánicas del Terciario. En lo que se refiere al ciclo geomorfológico, se considera que localmente el valle de Palenque se encuentra en una etapa de madurez tardía.

## **4. GEOLOGÍA**

El marco geológico de Chiapas está conformado por litologías muy complejas con variaciones espacio-temporales muy marcadas en su distribución, las cuales cubren desde el Paleozoico hasta el Holoceno (figura 2).

La base de la columna litoestratigráfica aflorante en el territorio Chiapaneco es de edad proterozoica cuyas exposiciones se restringen a pequeños afloramientos expuestos hacia la zona costera.

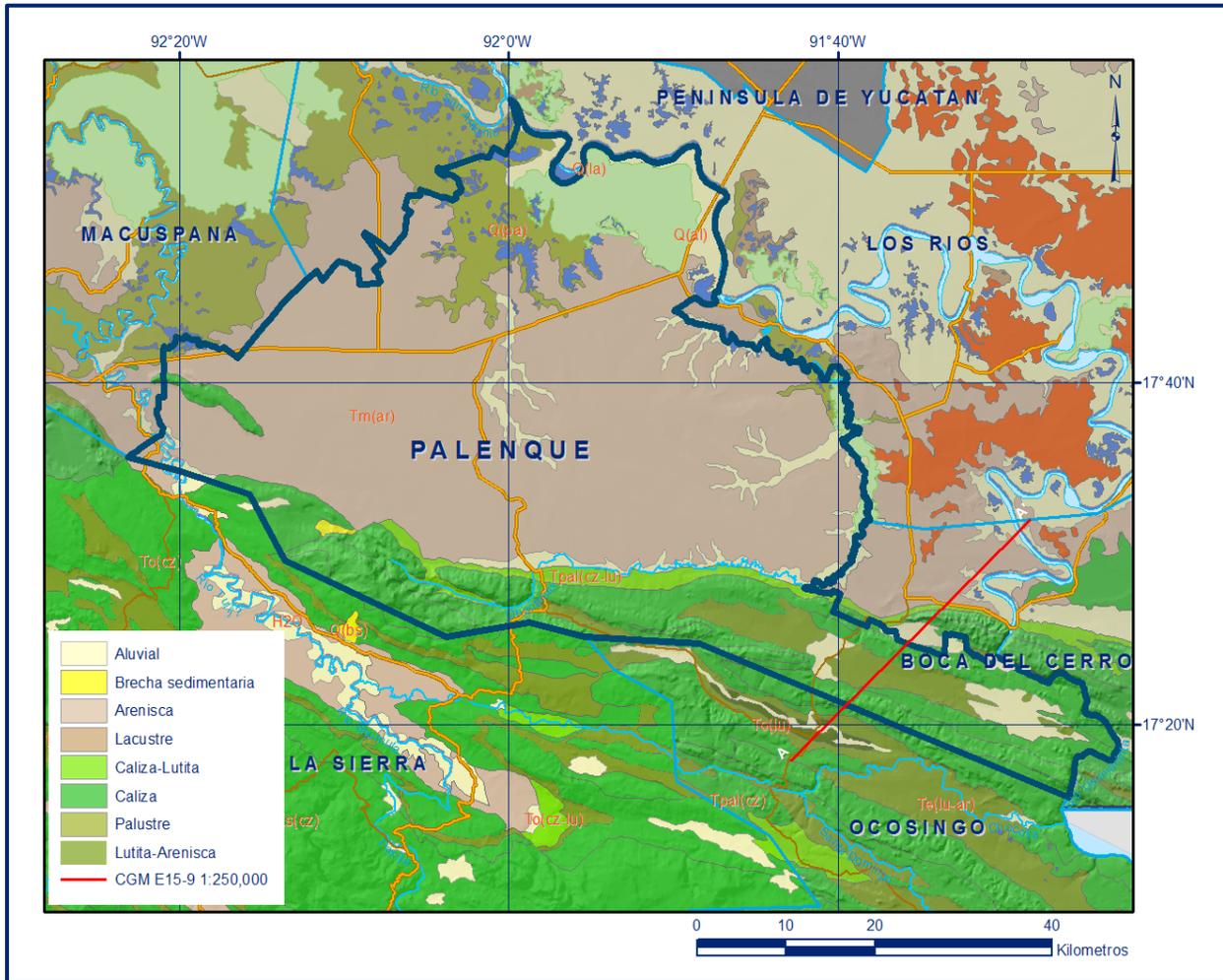


Figura 2. Geología general del acuífero

Cubriendo de manera discordante a las rocas basales, existen también rocas paleozoicas representadas por una serie detrítica perteneciente a las formaciones Paso Hondo, Vainilla y Grupera. Tales rocas se encuentran afectadas por intrusiones plutónicas que pertenecen al Batolito de Chiapas, lo que geográficamente se denomina como macizo granítico de Chiapas.

Cubriendo a la secuencia antes descrita, se tiene el depósito de rocas mesozoicas marinas representadas por una secuencia detrítico-calcareá que va del Triásico-Jurásico al Cretácico Superior, representada por las formaciones Todos Santos, Mogoñe, San Ricardo, Chinameca, Grupo Sierra Madre, Ocozocoautla y Méndez, las cuales afloran principalmente en la porción centro septentrional de la entidad, constituyendo zonas montañosas abruptas.

Sobre la secuencia de rocas mesozoicas se encuentra un paquete de rocas cenozoicas cuyo rango de depósito abarca del Paleoceno (Formación Soyaló) al Plioceno (Formación Tres Puentes). Las rocas paleocénicas son de origen marino y constituyen depósitos rítmicos tipo flysch.

Por su parte, las rocas eocénicas de naturaleza mixta (continental y marina) representan capas rojas en el límite con el Oligoceno marino, cuyas rocas están representadas por calizas (Formación Macuspana) y rocas detríticas (Formación La Laja), mismas que afloran principalmente hacia el oriente del estado.

Por su parte, las rocas del Mioceno son de origen marino y están conformadas por una serie arcillo-calcárea representada por las formaciones Encanto, Amate Inferior y Superior, Tuliján y Belem, que afloran en la porción septentrional del estado.

Finalmente, las rocas del Plioceno-Holoceno están constituidas por depósitos de limos, arenas, arcillas y depósitos piroclásticos derivados de las actividades de los volcanes Chichonal y Tacaná, así como por materiales aluviales y suelos residuales.

#### **4.1. Estratigrafía**

La secuencia litológica identificada dentro de la zona de Palenque se describe a continuación, de la más antigua a la más reciente:

Pre-Jurásico Superior.

La Formación Todos Santos, también conocida como Capas Rojas Todos Santos o Lechos Rojos, no aflora en la zona de estudio, pero ésta se ha identificado a través de pozos de perforación como es el denominado Tres Pueblos localizado en el límite de los estados de Chiapas y Tabasco con un espesor de 400 metros, subyaciendo a una secuencia de evaporitas cretácicas y sobreyacen a rocas del basamento.

Esta secuencia muestra hacia su base una potente secuencia de areniscas rojas de grano grueso a muy grueso con la presencia de fragmentos de granito, rocas efusivas y metamórficas, en estratos de 1 a 3 metros de espesor.

Cretácico Inferior

El Cretácico Inferior está caracterizado por una litología muy variada que evidencia ambientes mixtos de depósito, lagunares y de plataforma interna; estos presentan cambios tanto laterales como verticales y su origen de carácter marino. El conjunto litológico es conocido en esta zona con el nombre de Formación San Ricardo.

Formación San Ricardo.- Se usó esta designación para los sedimentos que afloran sobre la Carretera Panamericana, al noreste del puente sobre el río Las Flores, los cuales presentan variaciones que van desde calizas de plataforma interna a clásticos terrígenos depositados en ambiente litoral, identificados en las inmediaciones de la localidad de Cintalapa.

El espesor de esta formación disminuye hacia el sureste hasta llegar a una zona de acuñamiento total, al sur de Ocozocoautla, donde el Cretácico Medio descansa directamente sobre el granito (Basamento).

Cretácico Medio.

Durante el Cretácico Medio se extiende la transgresión marina donde se depositan principalmente carbonatos de plataforma. Las facies de plataforma han sido incluidas dentro del grupo Sierra Madre.

Formación Sierra Madre.- Se ha dividido en dos Miembros, Cantelhá y Jolpabuchil, restringiendo el miembro Cantelhá al Cretácico Medio y el Jolpabuchil al Cretácico Superior. El nombre Cantelhá fue aplicado a un cuerpo de dolomitas que afloran sobre el río Cantelhá, mientras que el término Jolpabuchil se aplicó a una secuencia de calizas con pedernal depositadas en mares abiertos, posiblemente de plataforma externa. Con un espesor de 420 metros, el Miembro Cantelhá es la unidad más desarrollada dentro de la sierra, aflora en una franja orientada de NW-SE a lo largo del homoclinal de la sierra y en las culminaciones de las estructuras del altiplano.

Está constituida por dolomitas con intercalaciones de calizas; estas intercalaciones permiten suponer un ambiente de depósito de plataforma interna de baja energía. Le subyace a las calizas de Cintalapa y cubre en concordancia al Cretácico Inferior.

Las calizas Cintalapa, afloran desde el río Chalchijapan hasta la frontera con Guatemala, presentado un espesor de 750 metros, medido al norte del poblado de Cintalapa; se presenta bien estratificada con intercalaciones de dolomita y calizas dolomíticas, las cuales se hacen más abundantes hacia el oriente de Tuxtla Gutiérrez.

Evidentemente las calizas Cintalapa se depositaron en una plataforma de escasa profundidad, más somera al E y NE de Tuxtla Gutiérrez, abarcando parte de la zona de Cintalapa.

Miembro Jolpabuchil.- Se encuentra constituido por calizas con estratificación media a delgada, con la presencia de bandas y nódulos de pedernal con un espesor promedio de 190 metros hasta alcanza los 1,400 metros identificada al sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, esta unidad se encuentra aflorando en los alrededores de Tuxtla Gutiérrez, Chicoasén, Chiapa de Corzo y San Cristóbal de Las Casas.

Cretácico Superior.

Brechas Lomas Tristes.- Yace en discordancia sobre la Formación Chinameca, a esta formación la constituyen brechas y conglomerados con fragmentos de caliza del Cretácico Medio, que se hacen más finos a medida que son más jóvenes, presentando dos ciclos de depósito separados por un horizonte de areniscas finas e intercalaciones de lutitas.

La estratificación es mala en su base donde los sedimentos son más gruesos pero mejoran hacia arriba hasta alcanzar los estratos de areniscas, para tornarse nula al iniciar otro ciclo sedimentario de clastos gruesos.

Formación Méndez.- Constituida por estratos de margas, lutitas y una alternancia de lutitas y areniscas, esta formación sólo se encuentra en la porción occidental de la sierra, entre el vaso de la presa Netzahualcóyotl y el río Chalchijapa donde afloran lutitas de estratificación delgada que alternan con areniscas de grano fino.

La Formación Méndez, al igual que el resto de las formaciones del Cretácico Superior, yacen en discordancia sobre el Cretácico Medio y en el caso particular del área comprendida entre Malpaso, río Nanchital y río Playas, reposa directamente sobre el Cretácico Inferior.

Formación Ocozocoautla.- Designa al miembro arenoso conglomerático que aflora al W del poblado del mismo nombre.

Al oriente de éste, aflora una secuencia sedimentaria terrígena, cuya característica principal es la gran cantidad de cambios laterales que presenta.

Descansa sobre las calizas de la Sierra Madre, en su parte inferior se presentan gravillas que subyacen a 190 metros de areniscas calcáreas, bien estratificadas, sobre estas se presenta un espesor de 140 metros de lutitas arenosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas arenosas en capas de 10 a 20 cm.

Dentro de la serie Ocozocoautla se identificó en su cima un cuerpo de 60 metros de areniscas calcáreas; así mismo, cabe señalar que hacia la localidad de Tuxtla Gutiérrez se presenta una interdigitalización de los depósitos de la Formación Angostura con los de la Formación Ocozocoautla.

Se le denomina Formación Angostura a la secuencia de sedimentos del Cretácico Superior que afloran en la depresión central y en el altiplano Chiapaneco, el nombre se toma de una localidad situada al SE de Tuxtla Gutiérrez en las márgenes del Río Grijalva.

Esta formación aflora en la depresión central, desapareciendo hacia el noroeste del estado.

Rocas Cenozoicas.

En la parte central de la sierra de Chiapas persiste el depósito de calizas en estratos bien diferenciados con un espesor total de 450 metros, esta formación se correlaciona en tiempo con la Formación Lacandón localizada y depositada al NE de Guatemala. La Formación Lacandón hacia el sureste del estado se manifiesta constituida en su base por brechas polimicticas con matriz calcárea-arcillosa, empacando fragmentos de calizas cretácicas. El ambiente que generó este depósito varió de aguas someras hacia la parte sur y de aguas profundas hacia el norte donde es nombrada como Formación Sepur.

A fines del Eoceno e inicios del Oligoceno se manifiesta una etapa de estabilidad tectónica que genera hacia la porción oriental de la sierra de Chiapas un “hiatus” sedimentario; mientras que hacia la porción central se generan depósitos de carbonatos de ambiente somero con el desarrollo de arrecifes, caracterizado por alternancias de calizas, brechas y lutitas arenosas, que en conjunto se denominan Formación Mompuyil.

En forma contemporánea hacia la porción norte del poblado de Pichucalco, se tienen procesos de sedimentación de lutitas y areniscas cubiertas por calizas arrecifales, esta unidad cambia gradualmente a sedimentos terrígenos hacia el norte y al occidente de Chiapas a ambientes profundos, producto del efecto de basculamiento de dos grandes bloques limitados por una falla de transcurrancia nombrada Chichonal; este paquete se denomina Formación La Laja.

En la cuenca de Chiapas y al sureste de la sierra de Chiapas se depositan lutitas parcialmente arenosas con intercalaciones de tobas, correlacionable en tiempo con la Formación Caribe, identificada en la República de Guatemala.

El levantamiento de la sierra tuvo su máximo desarrollo en esta época, por ello durante el Plioceno y Pleistoceno la morfología de la zona no sufrió alteraciones hasta la actualidad. La intensa erosión generada en estos últimos tiempos y el producto de los acarrees, tienden principalmente hacia la Planicie Costera del Golfo, donde el movimiento estructural del sistema de fallas Comalcalco-Frontera y Macuspana ha afectado el espesor de los depósitos.

#### **4.2. Geología estructural**

En respuesta a los efectos tectónicos acaecidos en el estado de Chiapas se formaron, por efecto de diversas deformaciones, provincias de carácter morfotectónico cuyos estilos son marcadamente diferentes. La combinación de dichos efectos del tectonismo y en especial los que han actuado en la Sierra de Chiapas, dieron origen a la formación de cinco provincias de carácter morfotectónico y cuyos límites se han fijado con base en trabajos realizados por geólogos de PEMEX. Particularmente la zona donde se localiza el acuífero Palenque se encuentra en la denominada, Provincia de Simojovel.

Esta provincia se localiza en la porción central y norte del estado de Chiapas, se caracteriza por estructuras armadas en sedimentos terciarios y cuyo estilo estructural fue el resultado de movimientos de fallas rumbo deslizantes, generándose un conjunto de plegamientos de tipo “echelon” cuya orientación preferencial es NNW-SSE. Se asocia comúnmente a fallas inversas longitudinales formadas durante el mioceno y que se conservan en el subsuelo. Entre sus estructuras más importantes se encuentran los sinclinales de San Pedro, Chapultenango, Chibol y los sinclinales Simojovel, Oxolotán, Ixtacomitán y Maspac; así como las fallas Itzantúc-Sontic, Pueblo Nuevo y Yajalón.

#### **4.3. Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado en materiales clásticos no consolidados del cuaternario, con una reducida extensión tanto horizontal como vertical. Esta unidad se encuentra limitada por rocas graníticas tanto horizontal como verticalmente, aunque no se descarta la continuidad hidráulica dado el fracturamiento que presentan las rocas cristalinas.

Superficialmente las áreas receptoras más importantes del acuífero se localizan en las partes altas de la sierra, donde existen extensos afloramientos de rocas fracturadas, y en los flancos montañosos donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso.

## **5.- HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1.-Tipo de acuífero**

El área de Palenque se encuentra limitada al sur principalmente por grandes elevaciones topográficas, que conforma la región más septentrional de la sierra de Chiapas, dentro de esta zona se aprecia un gran número de pequeñas sierras y lomeríos.

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado en los materiales clásticos no consolidados, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre y espesor variable.

Debajo de los materiales clásticos se ha medido un espesor de entre 4 y 50 metros de material granular producto de la erosión e intemperismo de las rocas graníticas así como de los conglomerados jurásicos existentes en esta zona.

Dichos materiales granulares presentan una buena permeabilidad; no obstante, la alteración de estas rocas ha generado el desarrollo de materiales limo-arcillosos.

Hidrológicamente el acuífero presenta una reducida extensión tanto horizontal como vertical, por lo que se puede inferir que el acuífero Palenque es de poca magnitud y bajo rendimiento, abasteciendo únicamente por medio de excavaciones poco profundas y medios mecánicos las necesidades de agua para uso doméstico de pequeñas comunidades.

Su principal fuente de recarga es la precipitación, captando además aportaciones de aguas laterales provenientes de rocas permeables, principalmente desde las porciones topográficamente altas, a través de los depósitos de talud.

### **5.2. Parámetros hidráulicos**

No obstante, el coeficiente de almacenamiento regional puede ser estimado con base en consideraciones acerca del tipo y granulometría del acuífero.

De tal forma, considerando que en la mayor parte de la zona predominan Datos básicos para cuantificar la disponibilidad de agua subterránea y conocer el comportamiento de un acuífero, son los relativos a las propiedades hidráulicas del mismo, representadas por medio de los coeficientes de permeabilidad, transmisividad y almacenamiento.

No obstante, en estudios anteriores no se han realizado pruebas de bombeo y/o estimaciones a partir de las capacidades específicas o de los cortes litológicos de los pozos, por esto resulta muy aventurado mencionar los parámetros hidráulicos que existen en el acuífero de la región debido a lo escaso de la información existente y a los pocos estudios a detalle que se han realizado en la zona.

Los materiales clásticos de relleno de grano fino a medio, y que el acuífero se comporta como libre, su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, el cual varía en el rango de 0.15 a 0.3.

### **5.3. Piezometría**

De acuerdo con la información existente, los niveles piezométricos en esta zona se encuentran entre 1 y 10 metros de profundidad, explotando dicho acuífero principalmente con captaciones del tipo noria, con profundidades que no rebasan los 18 metros, donde la extracción de agua se realiza principalmente por medios mecánicos.

No se tiene cuantificado el total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce. Es importante señalar que en los escasos reportes geohidrológicos de la zona no existen valores que permitan elaborar planos de profundidad ni de configuraciones de elevación; sin embargo, la escasa información regional recabada señala que los niveles del agua subterránea se han mantenido estables.

Por otra parte la abundancia de agua superficial hace que las fuentes de agua subterránea sean de poco interés, en cuanto al monitoreo piezométrico.

### **5.4. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Aunque se cuenta con escasos datos hidrogeoquímicos, en cuanto a la calidad de los acuíferos subyacentes, se considera que el agua subterránea es apta para todo uso, cumpliendo con las normas de calidad establecidas para consumo humano.

Sin embargo, no se descarta la posible contaminación antropogénica debido a la profundidad somera a la que se encuentra el nivel freático, la cercanía de los aprovechamientos a los núcleos de población, así como a las corrientes superficiales, las cuales en su mayoría actúan como cuerpos de captación de descargas de aguas residuales.

### **5.5. Comportamiento hidráulico**

Con base en lo expuesto en los apartados anteriores, se puede inferir el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero que se describe a continuación.

Recarga.

La recarga natural del acuífero es originada, principalmente, por infiltración de la lluvia y del escurrimiento superficial. Las áreas receptoras más importantes se localizan en las partes altas de las sierras, donde la precipitación pluvial es mayor y hay extensos afloramientos de rocas cuaternarias donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso.

Descarga.

La descarga natural del acuífero tiene lugar en varias formas: por evapotranspiración, a través de manantiales y subterráneamente hacia cuencas adyacentes. La evapotranspiración de agua subterránea tiene lugar en las áreas donde los niveles freáticos están a menos de unos 10 m de la superficie del terreno, de manera que pueden ser alcanzados por las raíces de la vegetación nativa.

Con respecto a los manantiales, la información recopilada señala que existen manantiales hacia las inmediaciones de las sierras y contactos litológicos, no obstante, estos no son permanentes y se agotan después de la época de lluvia. Las salidas hacia las cuencas o acuíferos adyacentes se realizan a través de los caudales base. De manera artificial a través de los aprovechamientos de aguas subterráneas como son los pozos y norias, distribuidas en el acuífero.

### **6.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

La recarga se determinó utilizando el método denominado "Balance de Agua Subterránea" y se complementó con algunas consideraciones hidrometeorológicas, para relacionar los resultados del balance con el marco hidrológico. Como criterio general, se obtuvieron los valores mínimos probables de los términos que intervienen en la evaluación, para deducir un valor mínimo probable de la disponibilidad de agua subterránea.

Ecuación de balance.

La recarga total que recibe un acuífero en un intervalo de tiempo se determinará por medio del balance de aguas subterráneas que en su forma más simple está representado por la siguiente expresión:

$$\text{Recarga Total (Suma de Entradas)} = \text{Cambio de almacenamiento de la unidad Hidrogeológica} + \text{Descarga total (Suma de Salidas)}$$

Con base en lo anterior y tomando en cuenta el principio de conservación de la masa, de acuerdo con la Ley de Darcy se establece lo siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento } (\Delta VS) \quad (1)$$

Considerando el gran volumen de precipitación existente en la zona de Palenque, y que los niveles del agua subterránea no han mostrado variaciones importantes, se consideró nulo el cambio de almacenamiento, por lo que la ecuación de balance se redujo a:

$$\text{RECARGA} = \text{DESCARGA} \quad (2)$$

Descarga.- Tomando en cuenta los parámetros generales que conforman las descargas de una unidad hidrogeológica, se tienen las componentes siguientes:

Bombeo de captaciones (B)

Evapotranspiración (Evt)

Manantiales (M)

Descargas Naturales (Dn)

Bombeo.- A este respecto la información recopilada no contiene datos precisos de los volúmenes extraídos por bombeo, la mayoría de los aprovechamientos identificados son norias, donde el agua se extrae de forma manual a través de herramientas simples como cuerdas y cubetas, el volumen de extracción reportado es de 0.3 Mm<sup>3</sup>/año; esta información es comprobada por medio de los datos proporcionados por el REPDA donde se señala un volumen de extracción anual de 3.48 Mm<sup>3</sup>, equivalente a 0.11 m<sup>3</sup>/s.

No obstante, los valores presentados por el REPDA son volúmenes concesionados y estos no necesariamente corresponden a la extracción real, por esta razón y con el fin de obtener un valor mínimo probable de recarga se optó por no considerar este parámetro en el cálculo del balance.

Descargas Naturales.

Evapotranspiración.- A su vez, la evapotranspiración tiene dos componentes: la evaporación directa del agua subterránea y la transpiración. La primera tiene lugar, donde aflora la superficie freática, así como en las áreas adyacentes a ésta, donde la misma superficie está poco profunda. En el subsuelo, el agua puede ascender, a partir del nivel freático, hasta una altura ("la altura capilar") cuyo valor depende del tamaño de los poros o fisuras; en los materiales granulares esa altura es inversamente proporcional al tamaño de los granos, variando entre unos cuantos decímetros en las gravas hasta cerca de tres metros en los materiales limo-arcillosos.

Este mecanismo de descarga se presenta en la zona donde los niveles freáticos están a profundidades no mayores a 10 metros.

A este respecto y de acuerdo con la Norma Oficial NOM-011-Conagua-2015, la descarga de agua subterránea por evapotranspiración, dada la dificultad de su cálculo, no se estimará por separado y su valor quedará implícito en el resultado del balance. Con base en lo anterior se consideró el valor de evapotranspiración como cero, lo que se traducirá en una estimación conservadora de la recarga.

Manantiales.- Los manantiales reportados en esta unidad son de bajo rendimiento y afloran por contacto litológico o a través de accidentes estructurales, principalmente en las zonas serranas. Referente a este aspecto, se reporta que los manantiales existentes son de régimen intermitente y se encuentran controlados principalmente por la época de lluvia, por lo que se descartaron como descargas del acuífero.

Consideraciones Hidrometeorológicas.

Partiendo de la igualdad de la ecuación No. 2, y considerando que del agua que se precipita como resultado de una o varias tormentas, parte de ésta se infiltra hasta alcanzar la superficie freática del acuífero y eventualmente aflora en una corriente superficial como gasto base.

En términos generales, este gasto es aportado por el acuífero durante la época de estiaje al escurrimiento superficial que alimenta dicha corriente.

Técnicamente la determinación de su magnitud puede servir de fundamento para la definición del potencial del acuífero, conocida la variación de los gastos con respecto al tiempo en un río.

Esto es, si se dispone de varias estaciones hidrométricas, el método mencionado se aplicará a los tramos comprendidos entre ellas, para conocer la distribución de esta descarga a lo largo del cauce. A pesar de la imprecisión propia de este tipo de balances, el resultado anterior muestra el valor mínimo probable de recarga existente en la unidad hidrogeológica.

A este respecto en la zona donde se ubica la Unidad Hidrogeológica Palenque, se tiene información disponible de la estación hidrométrica Aquespala, la cual se ubica al norte de la ciudad de Palenque, hacia la frontera con el estado de Tabasco, Figura 3.

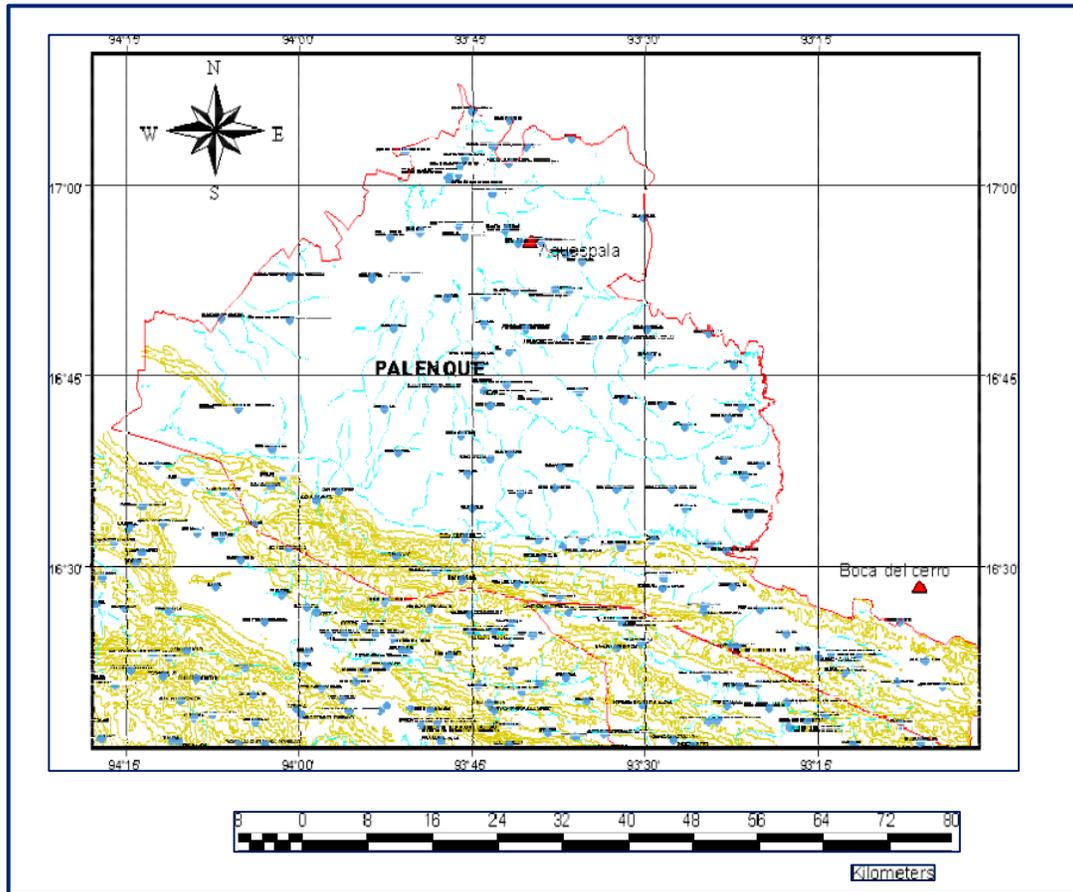


Figura 3. Localización de la Estación Hidrométrica.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas corrientes, se construyó el hidrógrafo de la estación, tomando los valores de los caudales mínimos registrados durante los meses de estiaje. Se analizaron los periodos 1950-1969 y 1959-1999; el primero de ellos con datos tomados del Boletín Hidrológico No.38, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

El segundo periodo se analizó con base al Sistema de Información de Aguas Superficiales desarrollado por el IMTA, como Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS).

La estación se encuentra sobre el río Rincón Tigre, dentro de la cuenca Río San Gregorio, en la comunidad de San Juan Bautista, municipio de Palenque.

En esta estación se puede observar una descarga del acuífero, a través de flujo base hacia las Planicies Costeras del Golfo, con un gasto promedio de  $14.97 \text{ m}^3/\text{s}$ , como lo muestra el hidrógrafo (figura 4).



Figura 4. Hidrógrafo de la Estación Aquespala.

Con base en los datos anteriores se puede establecer que durante el tiempo de estiaje sale del acuífero Palenque, por medio de flujo base, un volumen anual total de  $472.00 \text{ Mm}^3$  por año.

#### Recarga.

Sustituyendo los valores en la ecuación de balance, la recarga de agua subterránea resulta

Donde:

R = Recarga total.  $R = D + B$

D = Descargas naturales.

B = Bombeo en intervalo de tiempo.

Sustituyendo:

$$R = 193.0 + 0 \quad R = 193.0 \text{ Mm}^3$$

Que corresponde a una recarga media anual de **193.0** Mm<sup>3</sup>.

## 7. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

### 7.1 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.

Para este caso, su valor es de **193.0 hm<sup>3</sup>/año**, todos ellos son de recarga natural.

### 7.2 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 este caso, su valor es de **0.0 hm<sup>3</sup> anuales**.

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

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **31,919,496 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**.

### 7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 193.0 - 0.0 - 31.919496 \\ \text{DMA} &= 161.080504 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **161,080,504 m<sup>3</sup> anuales**.

## **8. BIBLIOGRAFÍA.**

Norma Oficial Mexicana CNA. NOM-011-CNA-2000, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

SARH. "Boletín Hidrológico No. 38", Regiones Hidrológicas num. 30 (Grijalva-Usumacinta). 1971