

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO CHICOMUSELO (0714), ESTADO DE  
CHIAPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero.....	3
<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 .....	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.3.1 Región Hidrológica.....	9
3.4 Geomorfología.....	10
<b>4. GEOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
4.1 Estratigrafía .....	11
4.2 Geología Estructural.....	17
4.3 Geología del subsuelo .....	18
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	18
5.2 Parámetros hidráulicos.....	19
5.3 Piezometría.....	19
5.4 Comportamiento hidráulico .....	19
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	20
<b>6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>21</b>
6.1 Descargas Naturales.....	22
6.2.- Consideraciones Hidrometeorológicas .....	23
6.3.-Recarga.....	24
<b>7. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>25</b>
7.1 Recarga total media anual (R).....	25
7.2 Descarga natural comprometida (DNC) .....	25
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	26
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>27</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**

La Unidad Hidrogeológica denominada Chicomuselo, se localiza en al sur del estado de Chiapas, cubre una superficie aproximada de 3,927 km<sup>2</sup>. Limita al norte con el acuífero La Trinitaria, al este con la frontera con Guatemala, al sur con los acuíferos Acapetahua y Soconusco, y hacia el oeste con el acuífero Fraylesca, (figura 1).

Geográficamente se localiza en la porción sur del estado de Chiapas, a escasos 5 km del límite fronterizo con la República de Guatemala. La infraestructura carretera es escasa destacando solamente la carretera Federal No.190, la cual une el poblado de

Chicomuselo con la comunidad de Frontera Comalapa, para finalmente llegar a la frontera con Guatemala. Además de esta vía, sólo existen algunos caminos de terracería.

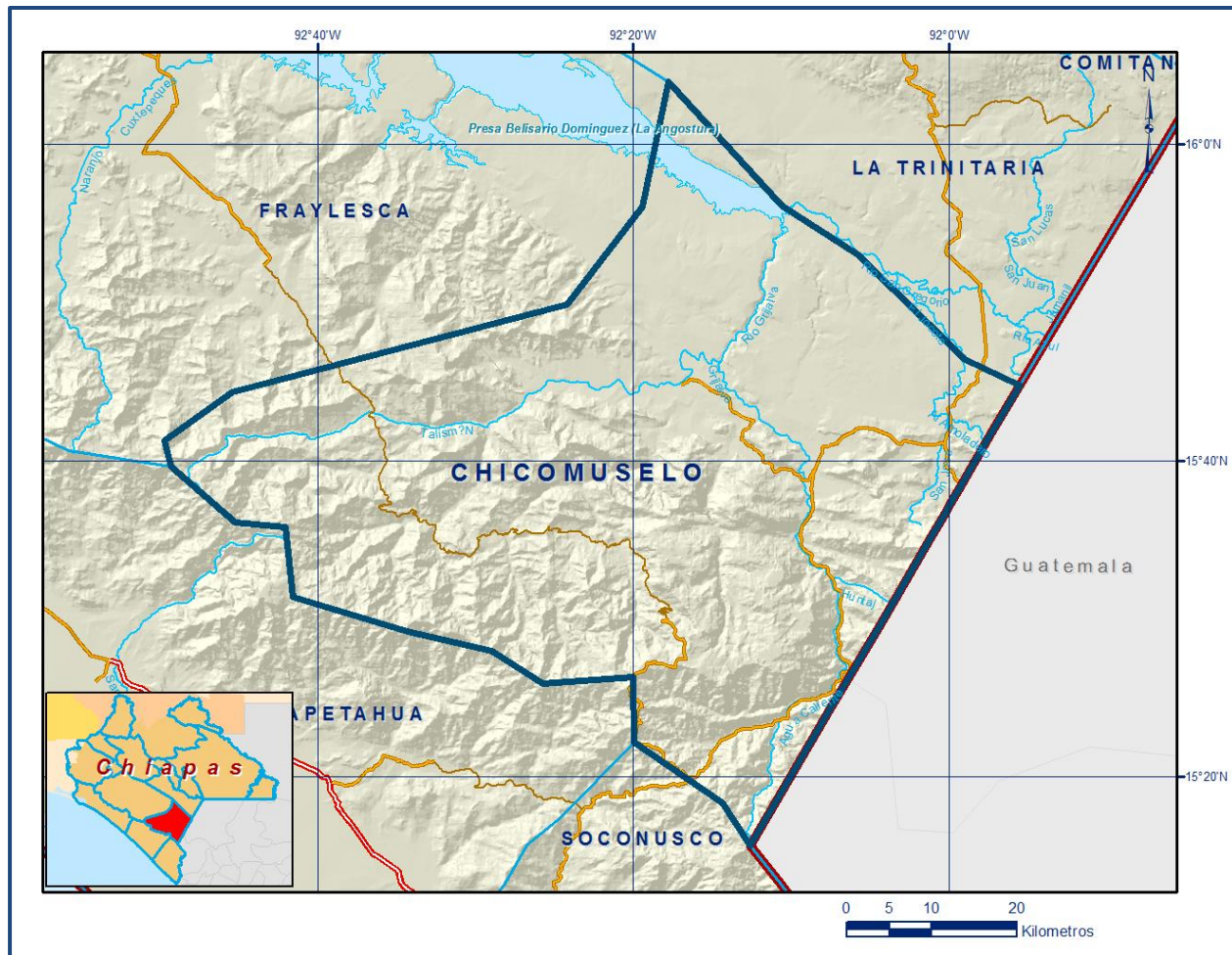


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero Chicomuselo abarca parcialmente los municipios de: La Trinitaria, Tzimol, Socoltenango, La Concordia, Chicomuselo, Ángel Albino, Mapastepec, Siltepec, Motozintla y Mazapa de Madero, así mismo abarca en forma total la superficie de los municipios de El Porvenir, Bejuca, La Grandeza, Amatenango, Bella Vista y Frontera de Comalapa. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

## 1.2. Situación Administrativa del acuífero

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, la cual cubre parte de la unidad geohidrológica Chicomuselo. 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.

Administrativamente los acuíferos del estado de Chiapas se encuentran dentro de la región hidrológico-administrativa número XI Frontera Sur. 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, Chahuities 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.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 071 4 CHICOMUSELO							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	92	12	37.7	15	15	38.2	
2	92	14	24.4	15	18	22.2	
3	92	19	59.9	15	22	10.5	
4	92	20	4.1	15	26	17.5	
5	92	25	43.9	15	25	54.7	
6	92	28	58.1	15	27	58.9	
7	92	34	22.2	15	29	10.3	
8	92	41	37.2	15	31	20.8	
9	92	42	3.4	15	35	47.2	
10	92	45	14.7	15	36	5.7	
11	92	49	17.4	15	39	35.6	
12	92	49	44.6	15	41	17.0	
13	92	45	25.0	15	44	19.9	
14	92	24	15.0	15	49	50.8	
15	92	19	26.8	15	56	4.7	
16	92	17	46.8	16	3	56.1	
17	92	10	38.0	15	56	5.8	
18	92	5	51.3	15	53	4.2	
19	91	59	2.6	15	46	25.4	
20	91	55	32.0	15	44	44.5	DEL 20 AL 1 POR EL LIMITE INTERNACIONAL
1	92	12	37.7	15	15	38.2	

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. La extracción de agua subterránea de acuerdo con los datos del REPDA, es de apenas 0.17 hm<sup>3</sup> al año el cual es utilizado en la agricultura.

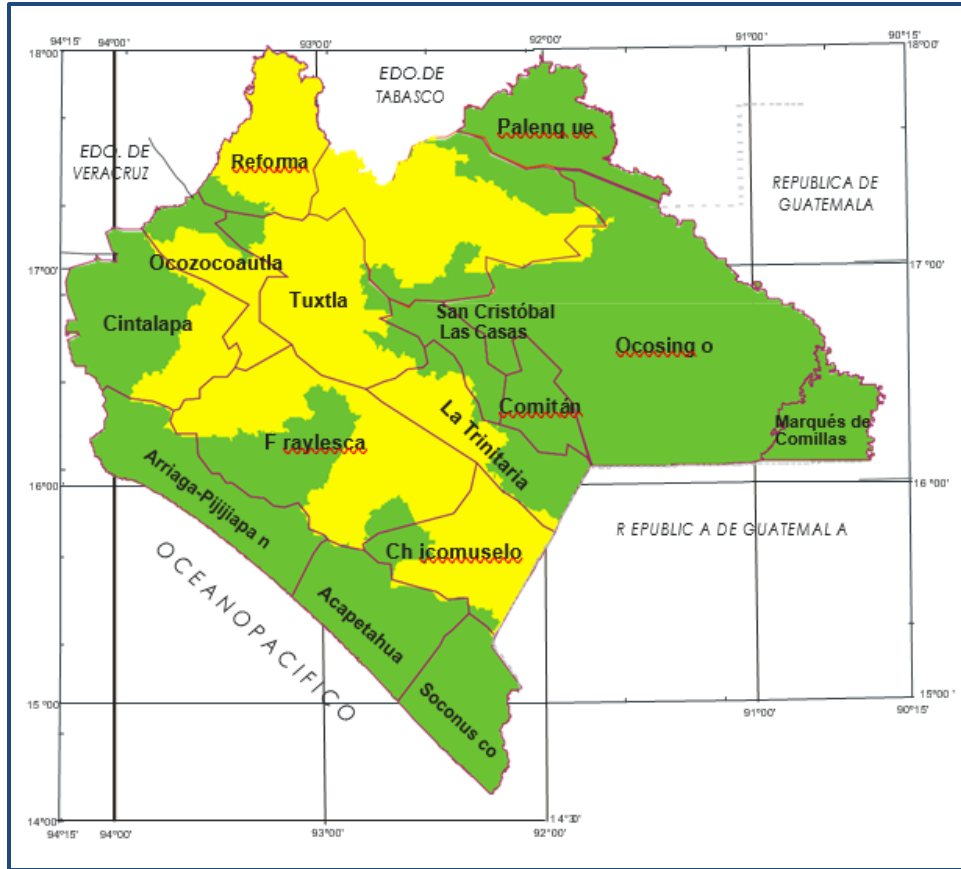


Figura No.2.- Delimitación de la zona de veda

## 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-minero, 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: Cordillera Centro Americana, Llanura Costera del Golfo de México y Tierras Altas de Chiapas y Guatemala.

La región Tierras Altas de Chiapas y Guatemala 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: Planicie Costera del Pacífico, Sierra de Chiapas, Depresión Central, Los Altos (meseta de Chiapas) y Sierras Plegadas del Norte (figura No. 3).

Específicamente la zona donde se encuentra el acuífero Chicomuselo pertenece a la subprovincia denominada Sierra de Chiapas, la cual se localiza al noroeste de la planicie costera del Pacífico y se denota como una gran estructura que se levanta abruptamente con respecto a las tierras bajas, con una orientación NW-SE.

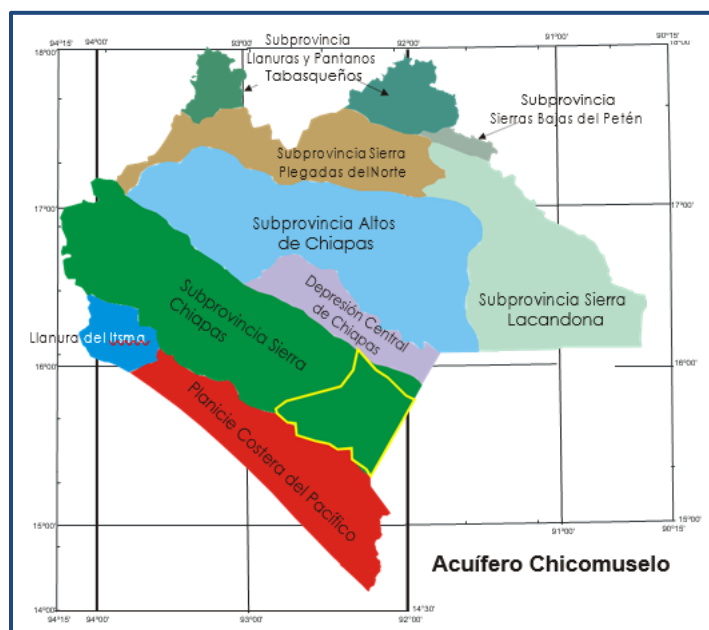


Figura No. 3.- Plano de Provincias Fisiográficas

La subprovincia Sierra de Chiapas o Sierra Madre de Chiapas es una cadena montañosa que consiste de rocas graníticas con orientación noroeste sureste, continuación del Macizo montañoso de Centro América formado por un batolito Paleozoico. En su extremo noroeste se presentan elevaciones bruscas en las montañas alcanzando magnitudes del orden de los 900 metros que aumentan gradualmente hacia el sureste cerca de la frontera con Guatemala a 2,900 metros, denominado “Macizo Granítico-Metamórfico de Chiapas”.

En la parte superior de la sierra se forma un parteaguas, donde el flanco noreste desciende con una pendiente relativamente suave hacia la cuenca del río Grijalva. El



flanco suroeste es abrupto y por el fluyen pequeñas e impetuosas corrientes descendiendo a la planicie Costera del Pacífico.

### **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 Chicomuselo, se recopilaron en el Servicio Meteorológico Nacional los datos climatológicos de las estaciones que se encuentran en la zona, para diferentes periodos que van de 1960 al 2000.

Particularmente dentro del acuífero Chicomuselo se localizan una estación Climatológica la cual lleva su mismo nombre. No obstante, con el propósito de tener una mayor información sobre este tema se incluyeron dos estaciones más: La Trinitaria y Comalapa localizadas en los municipios de La Trinitaria y Bellavista, respectivamente, siendo estas las más cercanas a la zona de Chicomuselo.

#### **Temperatura media anual**

La temperatura oscila entre los 22° y los 27° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de diciembre a marzo, mientras que las temperaturas más altas se registran en los meses de abril y mayo, durante el segundo trimestre del año, donde se registran valores de hasta 27° C.

#### **Precipitación media anual**

La precipitación media anual de la región es superior a los 1,500 mm, por arriba del promedio nacional. La distribución estacional muestra que, durante la temporada de lluvias, de junio a septiembre, la precipitación alcanza valores mensuales de hasta de 450 mm, registrados en la estación Comalapa, mientras que en la estación Chicomuselo se registran valores del orden de 325 mm durante el mes de septiembre. Durante el estiaje la lluvia disminuye considerablemente, registrando precipitaciones inferiores a los 10 mm en la estación Chicomuselo.

#### **Evaporación potencial media anual**

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 anuales acumulados que superan los 1,600 mm, y valores mensuales que van de los



90 hasta los 200 mm, presentando los mayores volúmenes de evaporación durante el mes de mayo en la estación Chicomuselo.

Con base en los datos climatológicos y la clasificación de INEGI, se puede concluir que en la zona donde se localiza el acuífero Chicomuselo se presentan los climas: cálido subhúmedo con lluvias en verano, semicálido subhúmedo con lluvias en verano y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con valores de precipitación entre 1,000 y 2,000 mm.

### **3.3 Hidrografía**

sus dimensiones y por sus características superficiales 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.

Las cuencas del Usumacinta y del Grijalva se originan en las montañas de Los Altos, en Guatemala, muy cerca una de la otra, a continuación, se describe la zona correspondiente a la cuenca del Grijalva, que es donde se encuentra la zona de estudio.

El río Grijalva nace en Huehuetenango, Guatemala, para luego fluir entre las montañas Chiapanecas, al llegar a los límites de Tabasco, cambia su nombre a Mezcalapa, para después de recibir el tributo del Río Pichucalco o Ixtacomitán, mientras que el río Mezcalapa se enriquece con el río de La Sierra, nacido en la meseta central de Chiapas, y adopta nuevamente el nombre de Grijalva y es así como el Grijalva, ya muy enriquecido, llega a Villahermosa, para seguir su curso rumbo al Golfo de México.

Todavía en ese trayecto final recibe la aportación de los ríos Chilapilla y Chilapa, que son los dos brazos del río Tepetitán o Tulijá, el último de los grandes caudales que se incorporan al Grijalva, procedente también de Chiapas. Tras esa larga travesía del Río Grijalva confluye en Tres Brazos, 84 Km después de Villahermosa, con los dos brazos del Usumacinta. 12 km más abajo pasarán juntos el Puerto de Frontera y 7 km adelante, desemboca al Golfo de México por la Barra de Frontera. Llama la atención que mientras los grandes ríos se encuentran gobernados por los rasgos estructurales,

las ramificaciones y corrientes tributarias tienen un control topográfico.

Específicamente en la zona de estudio se encuentran el río San Miguel, gran parte de su cuenca alta se encuentra en el territorio de Guatemala, formándose en las faldas de los montes Cuchumatanes, de donde baja con el nombre de Río Cuilico, entra a territorio mexicano pasando junto a la población de Frontera Amatenango e internándose con dirección noroeste. Ya en territorio mexicano, recibe las aportaciones de los ríos San Isidro y Yahuayita que bajan de la vertiente norte de la Sierra de Soconusco. A partir de la unión del río San Miguel con el de San Gregorio el río toma el nombre de Grijalva.

### **3.3.1 Región Hidrológica**

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, la Unidad Hidrogeológica Chicomuselo se localiza en la Región Hidrológica No. 30, Grijalva-Usumacinta.

Esta región es la más extensa del estado de Chiapas, abarca la porción central de la entidad y cubre aproximadamente un 80% del territorio estatal, 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.

### **Subregión**

La Región Hidrológica No. 30, se subdivide en tres subregiones que son: la 30-A, Alto Grijalva; la 30-B, Bajo Grijalva y la 30-C, Usumacinta. De acuerdo con lo anterior, se puede observar que la Unidad Hidrogeológica Chicomuselo, queda incluida dentro de la subregión denominada Alto Grijalva. A su vez, esta última se subdivide en dos principales subregiones: la conocida como Alto Grijalva, que va desde la frontera con Guatemala hasta la cortina de la presa de La Angostura y Medio Grijalva que comprende desde la presa La Angostura hasta la presa Malpaso; de acuerdo con esta distribución la zona del acuífero Chicomuselo se encuentra en la zona denominada Alto Grijalva.

## **Cuenca**

La cuenca a la que pertenece el Acuífero Chicomuselo es la denominada Río Grijalva-La Concordia, la cual cubre una superficie aproximada del 17.8% del territorio total del estado de Chiapas. Destacando en esta la presencia de los ríos San Miguel, Jaltenango, Dorado, Cuaupegues y principalmente el río Grijalva.

### **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.

La unidad geomorfológica conformada por la sierra cristalina, 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 desciende 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 Chicomuselo, 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 los ríos San Gregorio, San Miguel y Tapizala. En esta zona también se aprecian algunos lomeríos y mesetas de pequeñas dimensiones constituidas por rocas triásico-jurásicas, cretácicas y volcánicas del Terciario.

En lo que se refiere al ciclo geomorfológico, se considera que localmente la zona de Chicomuselo se encuentra en una etapa de madurez tardía. Mientras que la Sierra Cristalina pasa por una etapa de juventud debido a que sus corrientes son altamente erosivas, además de no existir valles en esta unidad geomorfológica.

## **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.

La base de la columna estratigráfica es de edad proterozoica cuyas exposiciones se restringen a pequeños afloramientos expuestos en la zona costera, cubriendo a las rocas básicas. 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-calcárea 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, y 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, Tulijan 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**

A continuación, se describe las principales unidades identificadas en la zona de Chicomuselo, de la más antigua a la más reciente:

### Rocas del complejo basal

Con el nombre de complejo basal Ígneo-Metamórfico, se le designa al conjunto de rocas cristalinas y metamórficas que conforman el núcleo de la Sierra de Chiapas, a dicho basamento le subyace una potente secuencia de rocas sedimentarias de edad paleozoica-mesozoica.

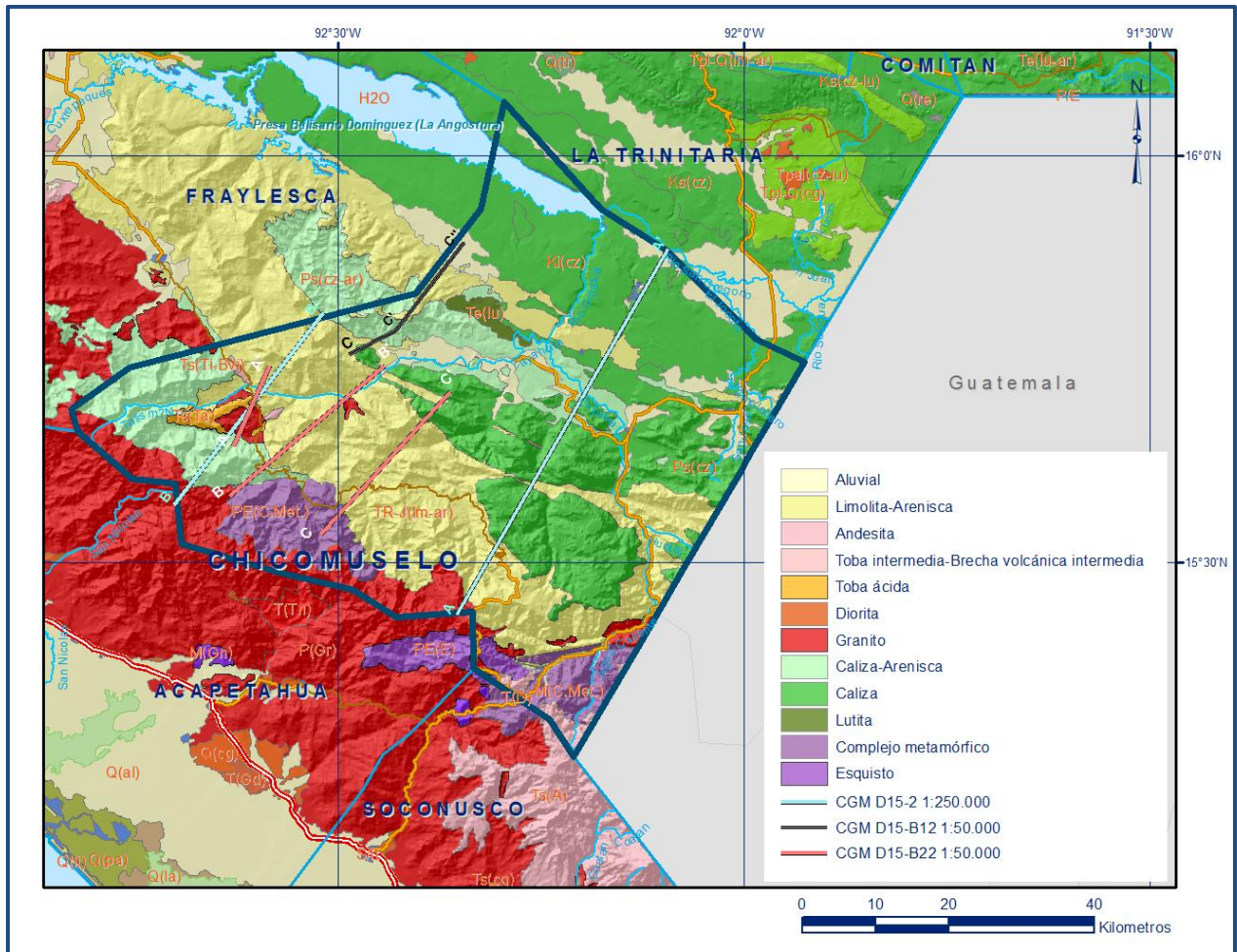


Figura 2. Geología general del acuífero

### Rocas Paleozoicas

La unidad más antigua está representada por la Formación Santa Rosa Inferior (Formación Aguacate) constituida por filitas, pizarras y esquistos, presentando diferentes grados de metamorfismo. Su espesor se ha calculado en 1,000 metros, medido al sureste del Estado de Chiapas, específicamente en el Poblado de Chicomuselo.

Discordantemente le sobreyace la Formación Santa Rosa Superior, constituida por lutitas intercaladas con arenas y calizas, con un espesor de 100 metros, aflorando el noreste del poblado de Chicomuselo.

La Formación Grupera descansa de manera concordante sobre las formaciones anteriores, al noreste del río Aguacate se observa en discordancia angular con los lechos rojos de la Formación Todos Santos. La Formación Grupera está conformada por 410 metros de lutitas intercaladas con calizas fosilíferas, que afloran en la región de Monte Redondo, al Sureste del poblado Chicomuselo. Las lutitas se encuentran dispuestas en estratos de 10 hasta 100 cm, por sus características se le ha identificado en un ambiente de depósito de plataforma somera con variaciones de alta y baja energía.

Sobre esta unidad se depositaron los carbonatos de la Formación Paso Hondo, los cuales están conformados por calizas con un alto contenido de fósiles, se presenta en estratos de 10 hasta 80 cm. Se le ha calculado un espesor de 950 metros, en la porción centro y norte de Chicomuselo; cabe señalar que esta formación es la de mayor exposición superficial.

### **Pre-Jurásico Superior**

La Formación Todos Santos, también conocida como Capas Todos Santos o Lechos Rojos, aflora al sur de Cintalapa mostrando 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. Así mismo, al norte de Cintalapa existe un derrame andesítico inmerso entre los lechos rojos evidenciando que es contemporáneo a ellos, aportando parte del material ígneo efusivo que aparece en esta formación. Al oriente de Cintalapa los Lechos Rojos desaparecen por acuñaamiento junto con las capas de la Formación San Ricardo bajo las calizas del Cretácico Medio, para aflorar nuevamente al sur-sureste de Tuxtla Gutiérrez.

### **Cretácico Inferior**

Característica de este tiempo es la Formación Chinameca, constituida por sedimentos carbonatados del Jurasico Superior, presentando variaciones laterales (de facies) una compuesta por calizas de ambiente somero y otra de margas sedimentadas de plataforma externa.



El miembro calcáreo está constituido en su base por dolomitas de estratificación delgada que subyacen a una secuencia biomicrítica, estos sedimentos debieron depositarse en un ambiente de aguas tranquilas de baja energía y afloran en las inmediaciones del poblado de Chinameca. Para su segundo miembro se ha identificado espesor de 780 metros de margas perfectamente diferenciadas del resto de los sedimentos del Cretácico Inferior y constituyen el paso transicional entre las calizas de cuenca y las rocas de plataforma interna.

### **Cretácico Medio**

Formación Sierra Madre. - Se ha dividido en tres Miembros: Cantelhá, Cintalapa y Jolpabuchil, restringiendo el miembro Cantelhá al Cretácico Medio y 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.

*Miembro Cantelhá.* - Con un espesor de 420 metros, esta es la unidad estratigráfica 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. Les subyace a las calizas Cintalapa y cubre en concordancia al Cretácico Inferior.

*Miembro Calizas Cintalapa.* - Este miembro aflora desde el río Chalchijapan, al noreste de Tuxtla, hasta la frontera con Guatemala, presenta un espesor promedio de 750 metros, los cuales fueron medidos al norte del poblado Cintalapa. Se caracteriza por una estratigrafía bien definida con intercalaciones de dolomita y calizas dolomíticas, las cuales se hacen más abundantes hacia el oriente de Tuxtla Gutiérrez. Por sus características litológicas se puede inferir que las calizas Cintalapa se depositaron en un ambiente de plataforma, de escasa profundidad, más somera al este y noroeste de la actual ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

*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 e 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, constituida por 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, solo 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 base del Cretácico Superior está formada por una brecha de fragmentos de calizas que gradualmente cambian a areniscas de grano fino. Sobre la brecha sigue una secuencia de margas y areniscas bien estratificadas con capas de 10 a 30 cm. de espesor. Le siguen margas de apariencia laminar, sobre estos existe una alternancia rítmica de margas y areniscas, coronadas por un conglomerado formado por fragmentos de calizas.

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**

La era Cenozoica estuvo enmarcada por el macizo de Chiapas y la Plataforma de Yucatán, entre ellas evoluciona la Cuenca Terciaria del Sureste; los tiempos paleocénicos se iniciaron con un ciclo de sedimentación de carácter terrígeno sinorogénico que concluye al término del Oligoceno, por la reactivación de una nueva etapa de tectonismo. Dichos sedimentos por lo general presentan un contacto de tipo discordante con los depósitos del Cretácico, denotados por paquetes de brechas de matriz arenosa que empaquetan fragmentos de rocas cretácicas.

La Formación Lacandón hacia el sureste del estado se manifiesta constituida en su

base por brechas polimícticas con matriz calcárea-arcillosa, empaquetando 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.

Contemporáneamente, hacia el norte de la Cuenca Terciaria se generó la sedimentación en aguas profundas, depositándose los mayores espesores en las porciones crecientes.

de la cuenca, hacia Comalcalco y Macuspana; generándose los estratos del Paleoceno y Eoceno en ambas estructuras, las que se encuentran cubiertas por lutitas, capas de areniscas y brechas calcáreas.

De igual forma, hacia el noroccidente se depositan sedimentos del tipo flysch nombrados Formación Ixtacomitlán, mismos que hacia el occidente, en un ambiente de aguas profundas, se nombran Formación Nanchital; la base de esta unidad presenta un paquete de conglomerados de carácter polimíctico nombrados Formación Uzpanapa.

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 denomina 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 occidente de Chiapas a ambientes profundos, producto del efecto del basculamiento de dos grandes bloques limitados por la falla de transcurrencia Chichonal, este paquete se denomina Formación La Laja.

Para el Mioceno existe una marcada inestabilidad tectónica manifestada por una regresión general de aguas marinas, como efecto del levantamiento total de la sierra de Chiapas, generando grandes discordancias. Para esta época se genera una cuenca somera en la sierra de Chiapas, mientras que hacia el sureste se tienen facies palustres,

litorales, deltaicas, lagunares y aluviales, en tanto que hacia la cuenca terciaria prosigue el depósito de sedimentos de aguas profundas.

En la sierra de Chiapas, en la porción central donde se forma la cuenca somera, se depositan areniscas calcáreas entre las que se intercalan coquinas, así como calizas arenosas que gradúan a conglomerados, su espesor total varía de 650 a 1,500 metros, en conjunto se le denomina Formación Tilaja.

En la cuenca de Chiapas y al sureste de la sierra de Chiapas se depositan lutitas parcialmente arenosas con intercalaciones de tobas, esta formación se correlacionó 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 importantes hasta la actualidad.

#### **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 cuyos límites se han fijado con base en trabajos realizados por geólogos de PEMEX.

Particularmente la zona de Chicomuselo se encuentra en la denominada Provincia de Fallas de Transcurrencia (conocida también como Fosas y Pilares), en dicha región se distinguen grandes lineamientos de hasta de 200 km de longitud que señalan el paso de las fallas que dan lugar a pilares (horts) de rocas carbonatadas cretácicas y fosas (graben) azolvados con terrígenos principalmente Terciarios. En todos los casos las fallas están orientadas WNW-ESE, estructuralmente pertenecen al sistema de fallas de corrimiento horizontal. La porción occidental presenta una orientación noroeste a sureste, se extiende desde la presa de Malpaso hasta Ixtapa, está conformada por bloques basculados y desplazados uno con respecto del otro, lo que dio como origen a la formación de fosas tectónicas, esta provincia alberga a las fosas denominadas Fortuna, Malpaso e Ixtapa, que se encuentran intensamente plegadas por efecto de las cabalgaduras de los pilares.

En la Fosa de Ixtapa, al SE de Chicomuselo, se aprecia que los pilares constituidos por roca caliza de edad cretácica enmarcan la fosa, y comprimieron los sedimentos Miocénicos alojados en ella, e incluso se advierte que las fallas tienen una actitud de tipo inverso, este fenómeno se acentúa al SW de Chicomuselo.

### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado en materiales granulares no consolidados del cuaternario, con una reducida extensión tanto horizontal como vertical, y un espesor promedio de 30 metros. Esta unidad se encuentra limitada, tanto horizontal como verticalmente, por rocas graníticas, 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 las sierras, 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**

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado dentro de los materiales clásticos no consolidados de origen sedimentario, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre. Éste presenta una estructura irregular en su posición topográfica, constituyendo un acuífero con variaciones laterales en su granulometría, que le confieren variaciones en su potencial de explotación. Se localizan en las planicies de inundación de los principales ríos: Grijalva, San Miguel y San Gregorio, Los cuales están conformados por arcillas, limos, arenas y gravas, desarrollando terrazas de geometría angosta.

El espesor de esta unidad es limitado con un promedio de 5 a 10 metros y un máximo de 30 metros, por lo que se puede deducir que en general esta secuencia no constituye un acuífero de importancia. Los volúmenes extraídos destinan básicamente a satisfacer las necesidades del uso doméstico abrevadero, por medio de excavaciones poco profundas y medios mecánicos de extracción.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

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 se han realizado pruebas de bombeo y/o estimaciones, es por esto que resulta muy aventurado señalar los parámetros hidráulicos que tienen actualmente los acuíferos 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 de Chicomuselo.

No obstante, con base en consideraciones acerca del tipo y granulometría del acuífero presente en la mayor parte de la zona, donde predominan los rellenos de material clástico de grano fino a medio, y el acuífero se comporta como libre, se puede considerar que su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico. El rendimiento específico de los materiales de grano grueso varía en el rango de 0.15 a 0.3.

## **5.3 Piezometría**

De acuerdo con la información existente, los niveles piezométricos se encuentran entre 1 y 10 metros de profundidad, explotando dicho acuífero principalmente con captaciones de tipo noria, donde su extracción se realiza principalmente por medios mecánicos.

No se tiene la cantidad total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce. Es importante señalar que en los estudios realizados en esta 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.

## **5.4 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 fracturadas, y en los flancos montañosos (pie de monte) donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso.

Aunque existen algunos manantiales en las zonas aledañas a las sierras, no existen manantiales importantes en los macizos montañosos, suponiendo que la mayor parte del agua infiltrada se percola a profundidad para incorporarse al acuífero regional, que la transmite hacia las áreas de descarga bajo el control de la gravedad y de la estructura geológica.

### **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 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.

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

Aunque se cuenta con escasos datos hidrogeoquímicos, en cuanto a la calidad del agua de los acuíferos, se considera que 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.

El tipo o familia de agua identificada, está en relación directa con la litología de la zona, en donde predominan las rocas de tipo granítico, en general las aguas presentan un bajo contenido salino lo que ratifica la poca disolución de las rocas. De este modo las

escasas muestras de agua analizadas en estudios regionales previos muestran una ligera predominancia del magnesio y calcio sobre el sodio encontrándose comúnmente mezclados originando aguas de carácter mixtas.

## 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.

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:

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

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

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

Considerando el gran volumen de precipitación existente en la zona de Chicomuselo, 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:

$$\text{RECARGA} = \text{DESCARGA}$$

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 del tipo noria, donde el agua que se extrae es de forma manual a través de herramientas simples como cuerdas y cubetas, se reporta un volumen de extracción de  $0.1 \text{ hm}^3/\text{año}$ ; esta información es comprobada por medio de los datos proporcionados por el REPDA donde se señala un volumen de **extracción anual de  $0.2 \text{ hm}^3$** . 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 se optó por no considerar este parámetro, en el balance.

### 6.1 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, y 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-CNA-2000, 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 también 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 el total

de 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.

## **6.2.- 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 infiltran hasta alcanzar la superficie freática del acuífero subyacente, 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 de Chicomuselo se tienen las estaciones hidrométricas: Argelia y El Salvador, localizadas al noroeste de la zona de estudio.

La estación hidrométrica Argelia se encuentra instalada sobre el río San Miguel, a unos 4 km aguas arriba de la confluencia con el río San Gregorio y aproximadamente a 90 km aguas abajo de la población de Chicomuselo. El área drenada hasta el sitio de la estación de Argelia es de 5,189 km<sup>2</sup>.

La estación hidrométrica El Salvador se encuentra sobre el Río San Gregorio, aproximadamente a 800 metros aguas arriba de la confluencia con el río San Miguel, en el municipio de Comalapa. El área drenada es de 4,600 km<sup>2</sup>.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas dos corrientes, se realizaron los hidrogramas de las dos estaciones. 10, tomando los valores de los caudales mínimos registrados durante el año. 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 y 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).

En estas dos estaciones se consideraron los valores de gastos medios promedio correspondientes a los meses de estiaje (marzo-mayo), como valores mínimos probables de aporte del acuífero hacia las corrientes superficiales; éstos son los meses con los valores más bajos.

El valor promedio obtenido de estos tres meses, fue proyectado a un periodo de un año. Este valor se considera como el volumen mínimo probable que aporta el acuífero a las corrientes superficiales, en forma de caudal base.

Con base en lo anterior, en las estaciones hidrométricas Argelia y El Salvador, para el periodo 1950-1969, se obtuvieron 18.27 m<sup>3</sup>/s y 29.84 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Sin embargo, el área total de drenado de las dos estaciones cubre más allá del territorio nacional, por lo que se consideró en forma porcentual el volumen correspondiente a la zona del acuífero, en función del territorio que el acuífero Chicomuselo cubre en la cuenca de drenado del río. De esta forma se estimó un 60% para la estación Argelia y un 40% para la estación El Salvador.

### **6.3.-Recarga**

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

$$\mathbf{R = D + B}$$

Donde:

R = Recarga total.

D = Descargas naturales.

B = Bombeo en intervalo de tiempo.

Sustituyendo:

$$\mathbf{R = 700.8 + 0.2}$$

$$\mathbf{R = 701.0 \text{ hm}^3}$$

que corresponde a una recarga media anual de **701.0 hm<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:

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

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

### 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 **701.0 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 **3,469,930 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 **20 de febrero del 2020**.

#### **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 701.0 - 0.0 - 3.469930 \\ \text{DMA} &= 697.530070 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones adicionales de **697,530,070 m<sup>3</sup> anuales** del acuífero.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

Davis, S.N., and De Wiest, R.J.M., 1996, Hydrogeology. John Wiley and Sons, 463 p.

Fetter, C.W., 1988. Applied Hydrogeology. 2nd Edition. Columbus: Merrill Publishing.

Heath, R.C., 1983, Basic Groundwater Hydrology, USGS, Water Supply Paper 2220.

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), num. 31 (Yucatán Oeste) num. 32 (Yucatán Norte) y num.33 Yucatán Este). 1971

IMTA, "Sistema de Información de Aguas Superficiales, "BANDAS", Ver. 1, 1997.

Consejo de Recursos Minerales, 1999, Monografía Geológico-Minera del estado de Chiapas.

Morales-Mireles y Ramos-Trujillo. - Carta Metalogénica del Sureste de México, tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM. 1992.