



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO TUXTLA (0703), ESTADO DE CHIAPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

## Contenido

1. GENERALIDADES .....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2.- Situación administrativa del acuífero .....	5
2.- ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	6
3.- FISIOGRAFÍA .....	6
3.1.-Provincia fisiográfica .....	6
3.2.- Clima.....	7
3.3.- Hidrografía .....	8
3.4.-Geomorfología .....	10
4.- GEOLOGÍA.....	11
4.1.-Estratigrafía.....	12
4.2.-Geología estructural.....	16
4.3.- Geología del Subsuelo. ....	17
5.- HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1.-Tipo de acuífero. ....	18
5.2.- Parámetros hidráulicos.....	18
5.3.-Piezometría .....	19
5.4- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	19
5.5.-Comportamiento hidráulico .....	20
6.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7. DISPONIBILIDAD.....	25
7.1 Recarga total media anual (R) .....	26
7.2 Descarga natural comprometida (DNC) .....	26
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	26
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	27
8. BIBLIOGRAFÍA .....	28

## **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 estado de Chiapas se localiza al sureste de la República Mexicana, limitando al sur por el Océano Pacífico, al oriente por la República de Guatemala, al norte por el estado de Tabasco y al poniente por los estados de Veracruz y Oaxaca. Cubre una superficie territorial aproximada de 73,311 km<sup>2</sup>, ocupando el octavo lugar a nivel nacional.

El estado está conformado por 112 municipios y su población total asciende a 3'920,892 habitantes (INEGI, 2003). Los Municipios más importantes y donde se concentra la mayor población son: Tuxtla Gutiérrez, con el 10.8 % de la población total; Tapachula con el 6.8%; San Cristóbal de Las Casas con el 3.3%; Comitán de Domínguez con el 2.7%; Villa

Flores y Palenque cada uno con el 2.2%, y finalmente el municipio de Tonalá con el 2.0%, el resto de los municipios abarcan en conjunto el 70%.

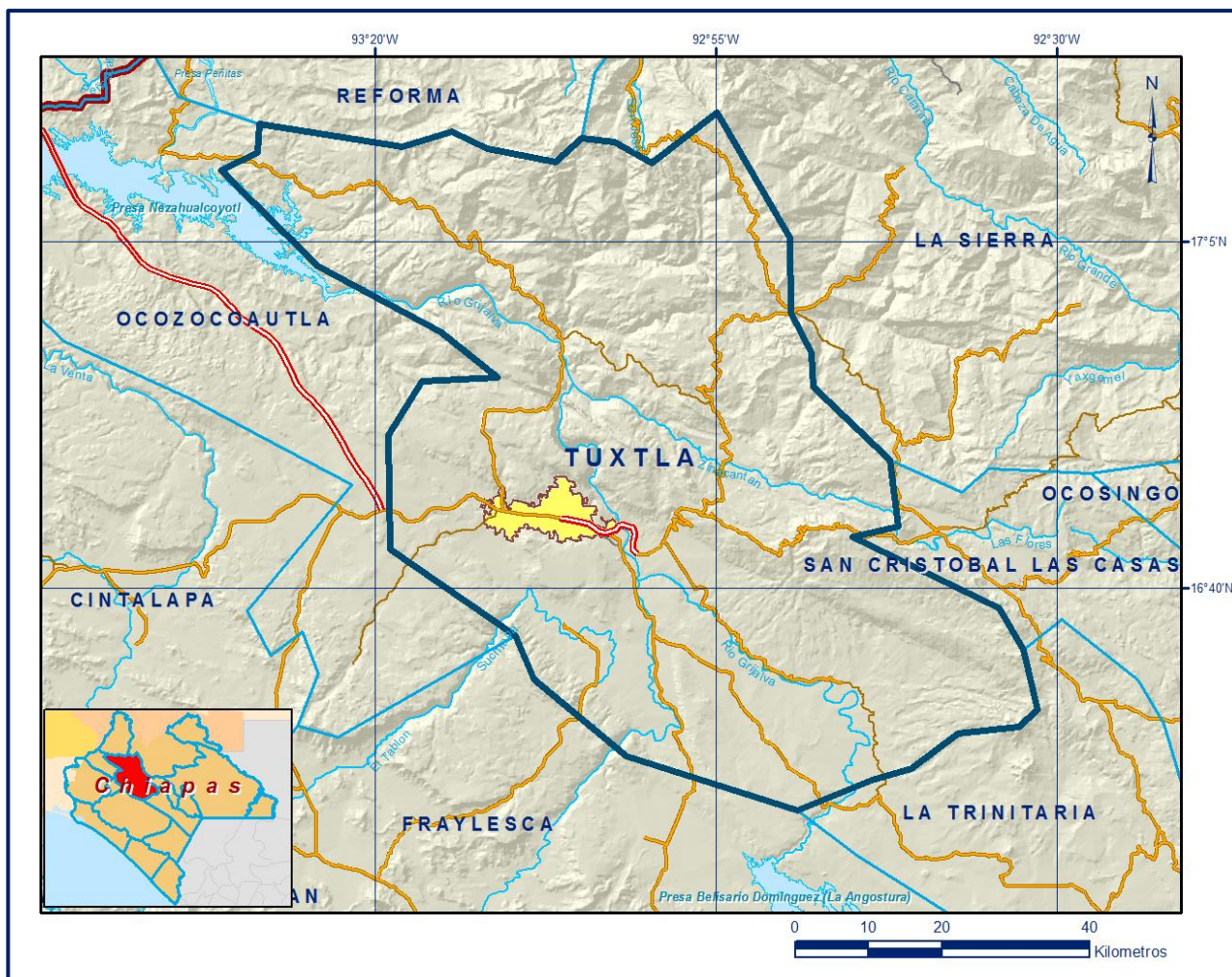


Figura 1 Localización del acuífero.

El acuífero denominado Tuxtla, se localiza en la parte centro oriental del estado de Chiapas, y cubre una superficie aproximada de 5,104 km<sup>2</sup>. Se identifica con la clave Geohidrológica CHA03 y la 0703 del SIGMAS (Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas de la CNA). Limita al norte con los acuíferos Reforma y La Sierra, al este con los acuíferos La Sierra y San Cristóbal Las Casas, al sur con los acuíferos La Trinitaria y Fraylesca y al occidente con el acuífero Ocozocoautla.

La infraestructura carretera que existe es la zona de estudio, permite que haya un buen enlace entre las principales comunidades que existen en ella, una de las vías de comunicación más importantes de la zona es la carretera Federal No. 190 (Carretera Panamericana) la cual establece comunicación entre la capital estatal con el estado de Oaxaca. De la ciudad de Tuxtla Gutiérrez la misma ruta comunica a las poblaciones de

San Cristóbal de Las Casas, Comitán de Domínguez hasta la población fronteriza de Ciudad Cuauhtémoc. Además de la infraestructura carretera existen numerosos caminos vecinales de terracería que comunican a la mayoría de los centros de población.

El acuífero Tuxtla se encuentra delimitado por los vértices definidos por las siguientes coordenadas geográficas:

<b>ACUIFERO 0703 TUXTLA</b>						
<b>VERTICE</b>	<b>LONGITUD OESTE</b>			<b>LATITUD NORTE</b>		
	<b>GRADOS</b>	<b>MINUTOS</b>	<b>SEGUNDOS</b>	<b>GRADOS</b>	<b>MINUTOS</b>	<b>SEGUNDOS</b>
1	92	42	14.4	16	49	15.3
2	92	41	39.9	16	44	29.1
3	92	45	1.6	16	43	40.9
4	92	34	13.4	16	38	32.3
5	92	32	28.0	16	35	31.2
6	92	31	24.5	16	31	14.4
7	92	32	48.9	16	29	58.5
8	92	37	16.2	16	29	29.2
9	92	40	39.6	16	26	57.5
10	92	43	35.4	16	26	7.5
11	92	49	3.8	16	23	55.3
12	93	1	37.6	16	27	52.1
13	93	8	21.5	16	33	23.7
14	93	9	44.7	16	36	34.7
15	93	18	55.9	16	42	48.3
16	93	19	6.1	16	51	3.1
17	93	16	36.3	16	54	57.1
18	93	11	1.6	16	55	11.5
19	93	15	14.1	16	58	30.6
20	93	24	13.8	17	3	15.6
21	93	31	22.3	17	10	10.1
22	93	28	40.5	17	11	27.3
23	93	28	30.9	17	13	30.2
24	93	18	3.9	17	11	52.7
25	93	14	25.7	17	12	58.6
26	93	11	48.7	17	11	43.3
27	93	6	48.6	17	10	48.3
28	93	4	53.3	17	12	30.3
29	93	2	28.6	17	12	11.8
30	92	59	44.9	17	10	42.0
31	92	54	56.6	17	14	20.7
32	92	49	35.0	17	5	17.4
33	92	49	30.7	16	59	52.9
34	92	48	0.8	16	56	59.1
35	92	47	55.0	16	54	29.9
1	92	42	14.4	16	49	15.3

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

Políticamente el acuífero Tuxtla abarca parcialmente los municipios de: Tecpatán, Berriozábal, Ocozocoautla de Espinoza, Suchiapa, Chiapa de Corzo, Totolapa, Teopisca, San Cristóbal de Las Casas, Zinacantán, Chamula, Larráinzar, Jitotol, Pueblo Nuevo, Rayón, Pantepec y Tapalapa, y cubre completamente a los municipios Copainalá, San Fernando, Tuxtla Gutiérrez, Acalá, Chiapilla, San Lucas, Ixtapa, Sayaló, Chicoasén.

El desarrollo económico de la región se fundamenta principalmente en las actividades relacionadas con el sector primario (agricultura y ganadería), destacando la ganadería dentro de las principales a las que se dedica la población económicamente activa, la actividad que le sigue en importancia es la agricultura, siendo ésta de régimen temporal en las zonas alejadas a los arroyos y ríos. Dentro los principales cultivos destacan el maíz, sorgo, frijol y en menor proporción las 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 Tuxtla 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, la cual cubre totalmente el acuífero Tuxtla. 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 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

La extracción de agua subterránea en el acuífero Tuxtla es de 3.1 Mm<sup>3</sup> al año, con la siguiente distribución: 1.68 Mm<sup>3</sup>/año para uso público urbano, 1.21 Mm<sup>3</sup>/año son utilizados en la agricultura, mientras que la industria utiliza solamente 0.27 Mm<sup>3</sup> anuales.

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

Dentro de los estudios existentes en la Comisión Nacional del Agua, solamente se tiene un estudio propiamente del acuífero Tuxtla, realizado en el año 2001 por la Empresa Laramide Ingenieros, S.A. de C.V., denominado “Estudio de Actualización Geohidrológica en los Acuíferos de Soconusco y Tuxtla, estado de Chiapas”.

El objetivo del estudio fue la compilación cartográfica, geológica y geohidrológica; determinando los tipos de facies de las rocas que afloran, rasgos geológico-estructurales locales y regionales y definición de unidades geohidrológicas.

Señala que el acuífero se localiza en la provincia Sierra y Valles del Sureste, representado morfológicamente por la depresión central de Chiapas, estructuralmente representa un sinclinal limitado por fallas en sus extremos. Destacando que los acuíferos y acuitardos se encuentran en materiales granulares y/o rocas fracturadas que incluyen materiales granulares, los que por su litología, compacidad, poco fracturamiento y reducido espesor e irregular distribución, forman acuíferos de importancia mínima.

## **3.- FISIOGRAFÍA**

### **3.1.-Provincia fisiográfica**

El estado de Chiapas muestra en su expresión superficial relieves 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.

Específicamente, la zona donde se encuentra el acuífero Tuxtla, se encuentra dentro de la subprovincia denominada Altos 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 noroeste-sureste. En forma parcial se ubica dentro de la denominada Depresión Central que corre en forma paralela a la anterior.

La subprovincia de la Depresión Central es una franja de terreno prácticamente plana que corresponde a un sinclinatorio donde afloran rocas cretácicas y cenozoicas, se extiende hacia el NW, desde la frontera con Guatemala, y termina en la porción central del estado. En el límite con Guatemala desciende gradualmente hasta alcanzar los 400 metros.

### **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 Tuxtla, se recopilaron en el Servicio Meteorológico Nacional, para el periodo 1960-2000, los datos climatológicos de las estaciones que se encuentran en la zona.

Particularmente dentro del acuífero Tuxtla, se localizó la estación climatológica El Burrero, identificada en la localidad de Ixtapa. Sin embargo, con el fin de tener una mayor información sobre este tema se incluyeron las estaciones Portacelli y Progreso, ubicadas en los municipios de Villa Flores y Ocozocoautla, respectivamente, localizadas en las inmediaciones del acuífero Tuxtla.

#### Temperatura media anual

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la temperatura oscila entre los 24 y los 27° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de enero a marzo, mientras que las temperaturas más altas se registran a mediados del segundo trimestre, siendo mayo el mes más caluroso.

#### Precipitación media anual

La precipitación media anual de la región es superior a los 1,300 mm, por arriba del promedio nacional. La distribución estacional muestra que, durante la temporada de



lluvias, que dura de 4 meses, de junio a septiembre, se concentra la mayor parte de la precipitación, alcanzando valores mensuales de hasta de 300 mm, mientras que durante el estiaje la lluvia disminuye considerablemente.

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 1,000 mm y valores mensuales que van de los 80 hasta los 135 mm, mostrando una relación directa con el incremento de la temperatura.

Con base en los datos climatológicos y la clasificación de INEGI, se puede concluir que la zona donde se localiza el acuífero Tuxtla 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**

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. 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, 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 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. Llama la atención que mientras los grandes ríos se encuentran gobernados por los rasgos estructurales, las ramificaciones y corrientes tributarias tienen un control topográfico.

Además del río Grijalva, dentro de la zona de Tuxtla se destacan los ríos: Santo Domingo, Suchiapa, Sabinal y Hondo. El río Santo Domingo se forma en la Sierra Madre de Chiapas, en su origen se llama río Pando, hasta la población de Villaflores, de ahí en adelante toma el nombre de Santo Domingo. Corre con una dirección noreste y recibe en su margen izquierda aportaciones del río Suchiapa, a partir de este punto cambia la dirección de su curso hacia el norte para confluir al Grijalva o río Grande de Chiapas como se conoce localmente.

El río Sabinal es una pequeña corriente situada en la parte central de Chiapas, nace en las cercanías del poblado de Berriozábal y corre hacia el este atravesando la población de Tuxtla Gutiérrez y continúa su curso hasta confluir con el río Grijalva, por su margen izquierda, aguas arriba del Cañón del Sumidero.

El río Hondo baja de la Mesa Central de Chiapas, corre en dirección noreste, recibiendo la aportación del río La Laja; confluye al río Grijalva por su margen derecha a unos 20 km de la confluencia del río Sabinal.

## Región Hidrológica

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, la Unidad Hidrogeológica Tuxtla se localiza dentro de la denominada 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 Tuxtla se encuentra incluida dentro de la subregión Alto Grijalva.

El Alto Grijalva se subdivide en dos principales subregiones: la conocida como Alto Grijalva, que va desde la frontera con Guatemala hasta la cortina de la presa La Angostura y la Medio Grijalva que comprende desde la presa La Angostura hasta la presa Malpaso, zona donde se encuentra el acuífero Tuxtla.

Cuenca.

La cuenca a la que pertenece el Acuífero Tuxtla es la denominada Río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, la cual cubre una superficie aproximada del 22.3% del territorio total del estado de Chiapas. Destacando en esta, la presencia de los ríos Ningunillo, Santo Domingo, Santa Catarina, La Venta y principalmente parte del Río Grijalva, a partir de la presa La Angostura.

### **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 zona de Tuxtla presenta al norte y noroeste del área flancos de estructuras anticlinales y sinclinales, destacando el Sinclinal Copoya, con flancos escarpados; algunas de estas estructuras están cortadas por accidentes estructurales que también afectan parte de la sierra de Chiapas. Esta última se presenta dentro del ciclo geomorfológico en una etapa de juventud, en donde los ríos y arroyos corren por valles angostos y profundos esculpiendo las formas de relieve abrupto, separando los valles por medio de angostos cañones.

En la parte noreste de la zona, al pie de la Sierra Los Altos de Chiapas en donde afloran rocas ígneas extrusivas, los rasgos geomorfológicos se manifiestan como cerros con elevaciones considerables y pendientes escarpadas, afectadas por un drenaje de tipo radial. Mientras que hacia la porción suroccidental del área, en donde afloran las rocas más antiguas y el macizo granítico de Chiapas, la meteorización que ha producido el paso del tiempo ha sido intensa, dando lugar a la formación de suelos lateríticos y una topografía con cerros sensiblemente ondulados.

#### **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 litoestratigráfica aflorante en el territorio Chiapaneco es de edad proterozoica cuyas exposiciones se restringen a pequeños afloramientos expuestos hacia la zona costera. Cubriendo de manera discordante a las rocas basales, se tiene la presencia de rocas Paleozoicas representadas por una serie detrítica perteneciente a las formaciones Paso Hondo, Vainilla y Gruperá. 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 son 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.

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 describen las principales unidades litológicas reconocidas en la zona de Tuxtla, de la más antigua a la más reciente:

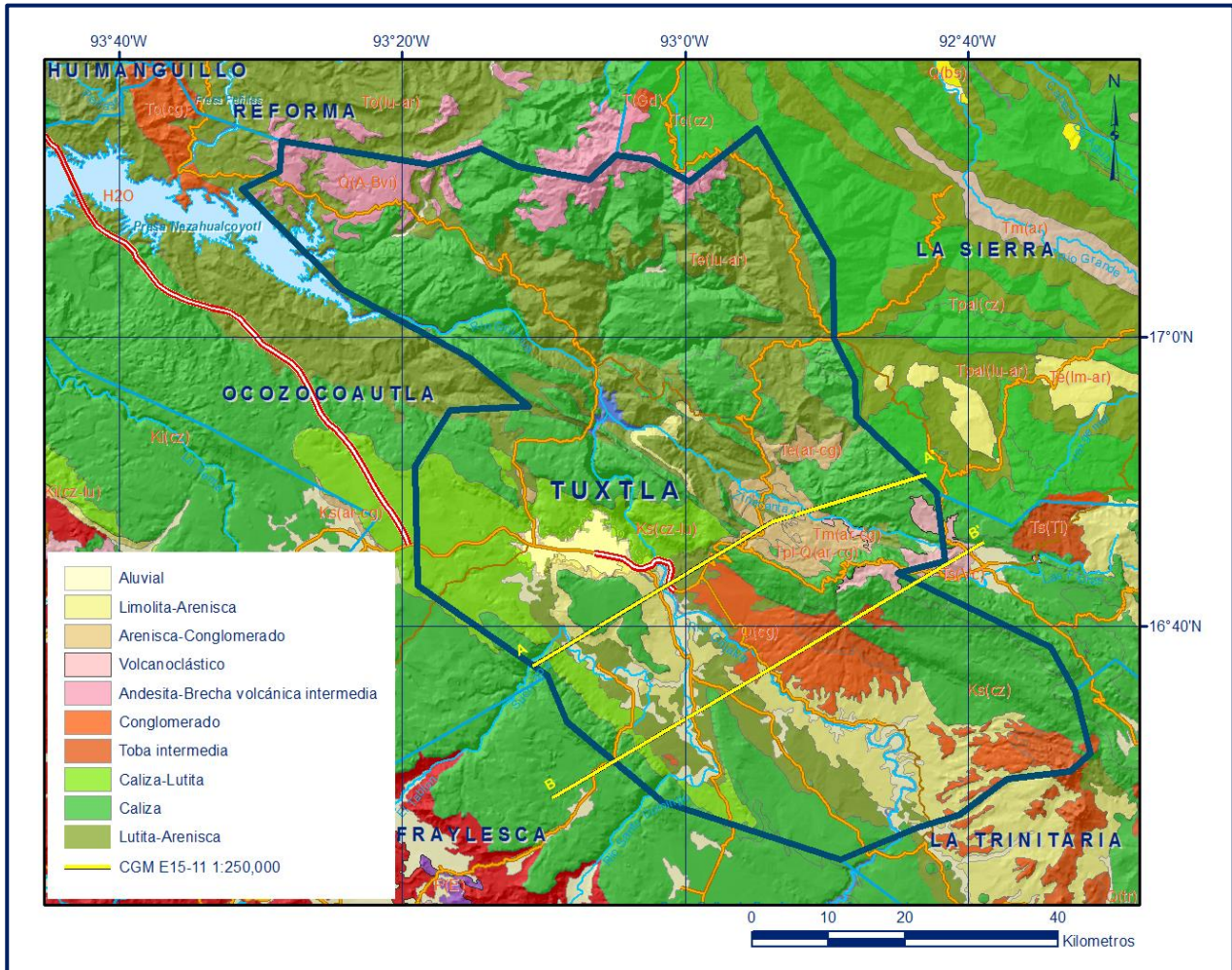


Figura 2. Geología general del acuífero

Pre-Jurásico Superior.

La Formación Todos Santos, también conocida como Capas Todos Santos o Lechos Rojos, aflora al sur de la comunidad 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 acuñamiento junto con las capas de la Formación San Ricardo bajo las calizas del Cretácico Medio, para aflorar nuevamente al sureste de Tuxtla Gutiérrez.

Cretácico Inferior.

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 y este de Tuxtla Gutiérrez, donde el Cretácico Medio descansa directamente sobre el granito (Basamento).

Cretácico Medio.

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.

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. Le subyace a las calizas Cintalapa y cubre en concordancia al Cretácico Inferior.

Las Calizas Cintalapa afloran 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 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, está 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, 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 base del Cretácico Superior está formada por una brecha de fragmentos de calizas que gradualmente cambian a areniscas de grano fino. Sobre la brecha se depositó una secuencia de margas y areniscas bien estratificadas con capas de 10 a 30 cm de espesor. Le siguen margas de apariencia laminar, sobre las cuales existe una alternancia rítmica de margas y areniscas, coronadas por un conglomerado formado por fragmentos de calizas.

La Formación Méndez, al igual que el resto de las formaciones del Cretácico Superior, yace 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 éstas 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 de espesor.

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.

La Era Cenozoica estuvo enmarcada por el Macizo de Chiapas y la Plataforma de Yucatán entre las cuales evolucionó 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, representados 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 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.

Durante el Eoceno y por efectos de la manifestación de esfuerzos compresionales acompañados de levantamientos corticales, se generan al sur de la sierra de Chiapas depósitos de sedimentos de ambiente continental conformados por lutitas y areniscas, alternando con capas de conglomerado. En conjunto esta unidad presenta un espesor total de 600 metros, y se conoce como Formación El Bosque. Esta formación hacia la porción central de la sierra de Chiapas se interestratifica con



sedimentos de terrígenos y carbonatos depositados en un ambiente de aguas marginales-litorales a los que se le llama Formación Lomut.

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, caracterizados por alternancias de calizas, brechas y lutitas arenosas, que en conjunto se denominan Formación Mompuyil.

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

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

Particularmente la zona donde se localiza el acuífero de Tuxtla se encuentra en la denominada Provincia de Fallas de Transcurrencia, conocida también como Fosas y Pilares, comprende las áreas de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de Las Casas. En dicha región se distinguen grandes lineamientos hasta de 200 Km de longitud que señalan el paso de las fallas que dan lugar a pilares (horts) armados por rocas carbonatadas cretácicas y fosas (grabens) azolvados con terrígenos principalmente terciarios.

En todos los casos las fallas están orientadas WNW-ESE, estructuralmente pertenecen al sistema de fallas de corrimiento horizontal en el que se identifican dos subsistemas. La zona occidental presenta una orientación noroeste a sureste, que se extiende desde la presa de Malpaso hasta Ixtapa, está conformado por bloques basculados y desplazados uno con respecto del otro, lo que dio 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 Ixtapa localizada al NW de San Cristóbal de Las Casas, se aprecia que los pilares constituidos por roca caliza de edad cretácica que enmarcan la fosa 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 WSW de San Cristóbal de Las Casas al desaparecer completamente la fosa, bajo los bloques de calizas y dolomitas cretácicas que las limitan.

#### **4.3.- Geología del Subsuelo.**

El acuífero en explotación se encuentra alojado en los materiales granulares no consolidados constituidos principalmente por gravas gruesas, arenas gruesas a finas, arcillas, limos y fragmentos de rocas calcáreas, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre con un espesor promedio de 5 a 10 metros, y en algunas zonas alcanza hasta 30 metros. El material sobre el que se desarrolla es producto de la erosión e intemperismo de las rocas existentes, dichos materiales presentan buena permeabilidad; no obstante, la alteración de estas rocas ha generado el desarrollo de materiales limo-arcillosos, que le confieren cierta impermeabilidad.

Con base en la información recopilada, se puede deducir que la unidad hidrogeológica Tuxtla se aloja principalmente sobre las márgenes de las principales corrientes donde se han desarrollado terrazas angostas constituidas por gravas y arenas, mientras que en las zonas de inundación se encuentran básicamente materiales limo-arenosos. Esta unidad hidrogeológica se encuentra limitada por elevaciones topográficas conformadas principalmente por rocas calcáreas y conglomerados, con elevaciones de hasta 200 metros con respecto al nivel del valle.

## **5.- HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1.-Tipo de acuífero.**

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

Litológicamente pertenece a la unidad de depósitos continentales cuaternarios que se encuentran alojados en las inmediaciones de los principales ríos; Grijalva, Santo Domingo y Suchiapa. Constituidos principalmente por arcillas, limos arenas y gravas, desarrollando terrazas de geometría angosta, mientras que sobre planicies de inundación se encuentran básicamente materiales limo-arcillosos.

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, destinado básicamente para abastecer las necesidades de uso doméstico de comunidades rurales, por medio de excavaciones poco profundas y medios mecánicos de extracción.

Su principal fuente de recarga es la precipitación, no obstante, también captan aguas que provienen lateralmente de las aportaciones de rocas permeables localizadas en las partes topográficamente más altas, a través de los depósitos de talud y pie de monte.

### **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 obstante, en los estudios anteriores no se realizaron pruebas de bombeo y/o estimaciones de los parámetros hidráulicos; 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 Tuxtla.

Sin embargo, con base en consideraciones acerca del tipo y granulometría de los materiales que constituyen el acuífero, donde predominan los rellenos de material clástico de grano fino a medio, y tomando en cuenta que el acuífero es de tipo libre,

se puede considerar que 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 se encuentran entre 1 y 15 metros de profundidad, explotándose el acuífero principalmente por medio de aprovechamientos tipo noria, donde su extracción se realiza principalmente por medios mecánicos.

No se cuantificó el total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce. Es importante señalar que en esta unidad geohidrológica no existe información piezométrica que permita elaborar los planos de configuración del nivel estático; 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 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 bajo contenido de sales lo que ratifica la poca disolución de las rocas por las que circula el agua subterránea. Las muestras analizadas en estudios anteriores muestran una ligera predominancia del magnesio y calcio sobre el sodio, encontrándose comúnmente mezclados, originando aguas mixtas.

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

Como no hay manantiales importantes en los macizos montañosos, se deduce 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.

Se supone que la recarga efectiva del acuífero es algo menor que el volumen infiltrado, ya que una parte de éste puede ser retenido en la zona no saturada, donde gran parte del agua infiltrada queda retenida en los primeros metros de relleno, para después evaporarse sin aportar recarga efectiva al acuífero.

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, éstos 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, distribuidos 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.

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:

Recarga Total (Suma de Entradas)  $\pm$  Cambio de almacenamiento de la unidad Hidrogeológica  $\pm$  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:

$$\text{Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de almacenamiento (AVS)..... (1)}$$

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

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

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, se reporta una extracción de 3.0 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 9.86 Mm<sup>3</sup>, equivalente a 0.31 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 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.

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 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 Tuxtla, se tiene información disponible de las estaciones hidrométricas siguientes: Angostura, Boquerón, La Escalera, Plan de Ayala, Parque Madero y Grijalva.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas corrientes, se realizaron los hidrogramas de las estaciones, 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).

Si se toma en cuenta la dirección del río Grijalva, la primera estación que se presenta en la zona es la estación Angostura localizada al sur del acuífero Tuxtla, la cual se encuentra sobre el río Grijalva a la salida del Cañón "La Angostura", en el municipio de Venustiano Carranza. Se puede observar que en ella se aporta un importante volumen proveniente de la zona de La Trinitaria, como lo muestra el hidrógrafo de esta estación, apreciando que durante el tiempo de estiaje ingresa al acuífero Tuxtla, por medio de flujo base, un caudal total de 81.90 m<sup>3</sup>/s.



A este gasto se le incorpora el volumen proveniente del río Santo Domingo, el cual tiene su origen en la Sierra Madre de Chiapas, corre con una dirección noroeste y confluye al Río Grijalva o Río Grande de Chiapas como localmente se le conoce. Sobre el río Santo Domingo se encuentra la estación La Escalera, en la que se ha calculado un promedio de 1.13 m<sup>3</sup>/s para el segundo trimestre.

A unos 10 km aproximadamente, aguas abajo de la estación La Escalera, se encuentra la confluencia del río Santo Domingo con el río Suchiapa, sobre el cual se encuentra instalada la estación El Boquerón, en este punto se ha logrado medir durante la época de estiaje un valor promedio de 1.80 m<sup>3</sup>/s.

Posteriormente, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, el río Grijalva recibe otra aportación sobre su margen izquierda, proveniente del río Sabinal, sobre la cual se encuentra ubicada la estación Hidrométrica Puente Parque Madero, la que se encuentra dentro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en esta estación se ha registrado un gasto promedio del orden de 0.050 m<sup>3</sup>/s.

A unos 20 km aguas abajo de la confluencia del río Sabinal, el río Grijalva recibe por su margen derecha un aporte proveniente del río Hondo, sobre el cual se encuentra la estación Plan de Ayala, a unos 3 km al noroeste del poblado de Ixtapa y a unos 20 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en este punto se ha calculado un gasto de 1.48 m<sup>3</sup>/s

La estación hidrométrica Grijalva se encuentra sobre el mismo río, a 1 km al oeste del poblado Chicoasén, 5 kilómetros aguas abajo de la confluencia del Río Hondo y a 30 km al norte de la ciudad Tuxtla Gutiérrez. Se puede considerar que el volumen que pasa por esta estación es el volumen total que sale del acuífero Tuxtla, en esta estación se ha registrado un gasto de 93.60 m<sup>3</sup>/s.

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos del análisis de cada una de las estaciones hidrométricas.

Estación	Superficie drenada km <sup>2</sup>	Gasto m <sup>3</sup> /s	men anual Mm <sup>3</sup>
Angostura	18,203	81.90	2582.80
La Escalera	1,808	1.13	35.64
Boquerón	1,870	1.80	56.76
Parque Madero	330	0.06	1.89
Plan de Ayala	185	1.48	46.67
Grijalva	26,538	93.60	2951.77

Considerando los datos obtenidos, se observa que el acuífero aporta al flujo base de la corriente un total de 86.37 m<sup>3</sup>/s (estaciones Angostura, La Escalera, Boquerón, Parque Madero y Plan de Ayala) y salen del acuífero (estación Grijalva) a través del río Grijalva 93.60 m<sup>3</sup>/s, la diferencia da una recarga media anual en el acuífero de 7.23 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 228.0 Mm<sup>3</sup>/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:

$$R = 240.6 + 0 \quad R = 240.6 \text{ Mm}^3$$

que corresponde a una recarga media anual de **240.6** 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:

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

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 **240.6 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 (REPDa), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **49,065,775 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) 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.

$$\begin{aligned} \mathbf{DMA} &= \mathbf{R - DNC - VEAS} \\ \mathbf{DMA} &= \mathbf{240.6 - 0.0 - 49.065775} \\ \mathbf{DMA} &= \mathbf{191.534225 \text{ hm}^3/\text{año.}} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

Davis, S.N., and De Wiest, R.J.M.; 1996, Hidrogeología. 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.

CNA, "Estudio de Actualización Geohidrológica en los acuíferos de Soconusco y Tuxtla, Estado de Chiapas". Elaborado por Laramide Ingenieros, S.A. de C. V., 2001.

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