



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA  
EN EL ACUÍFERO OCOZOCOAUTLA (0704), 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.....	7
3.1.-Provincia fisiográfica.....	7
3.2 Clima.....	8
3.3.- Hidrografía.....	9
3.4.-Geomorfología.....	11
4.- GEOLOGÍA.....	12
4.1.-Estratigrafía.....	13
4.2.-Geología estructural.....	17
4.3.- Geología del Subsuelo.....	18
5.- HIDROGEOLOGÍA.....	18
5.1.-Tipo de acuífero.....	18
5.2.- Parámetros hidráulicos.....	19
5.3.-Piezometría.....	19
5.4- Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
5.5.-Comportamiento hidráulico.....	20
6.- BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7. DISPONIBILIDAD.....	26
7.1 Recarga total media anual (R).....	26
7.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	27
8. BIBLIOGRAFÍA.....	29

## **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. Figura No. 1.

El estado está conformado por 112 municipios y su población total asciende a 3'920,892 habitantes (INEGI). 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%, finalmente el municipio de Tonalá con el 2.0%, el resto de los municipios abarcan en conjunto el 70%.

El acuífero Ocozocoautla, se localiza al noroeste del estado de Chiapas, cubriendo una superficie aproximada de 2,410 km<sup>2</sup>, en el límite con el estado de Oaxaca. Está representada por la clave geohidrológica CHA04 y 0704 del SIGMAS (Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas de la CNA). Limita al norte con el estado de Veracruz y el acuífero Reforma, al este con el acuífero Tuxtla, al sureste con el acuífero Fraylesca y al oeste con el acuífero Cintalapa.

La infraestructura carretera permite un buen enlace entre las principales poblaciones de la zona. 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. Además de la infraestructura carretera, existen numerosos caminos vecinales de terracería que comunican a los centros de población, aledaños a la cabecera municipal Ocozocoautla.



El acuífero Ocozocoautla se encuentra delimitado por los vértices, referidos a las siguientes coordenadas geográficas:

ACUIFERO 0704 OCOZOCAUTLA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	93	24	13.8	17	3	15.6	
2	93	15	14.1	16	58	30.6	
3	93	11	1.6	16	55	11.5	
4	93	16	36.3	16	54	57.1	
5	93	19	6.1	16	51	3.1	
6	93	18	55.9	16	42	48.3	
7	93	9	44.7	16	36	34.7	
8	93	22	44.8	16	29	14.6	
9	93	25	43.0	16	30	2.5	
10	93	24	12.5	16	33	51.4	
11	93	25	21.3	16	36	48.7	
12	93	27	41.0	16	35	9.4	
13	93	29	24.4	16	38	22.3	
14	93	21	46.3	16	47	26.2	
15	93	28	21.3	16	50	53.0	
16	93	33	41.7	16	53	44.4	
17	93	42	51.8	16	57	48.9	
18	93	47	16.9	17	1	55.2	
19	93	52	4.8	17	8	9.3	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE ESTATAL
20	93	36	27.8	17	18	50.6	
21	93	34	30.6	17	15	30.1	
22	93	28	30.9	17	13	30.2	
23	93	28	40.5	17	11	27.3	
24	93	31	22.3	17	10	10.1	
1	93	24	13.8	17	3	15.6	

Políticamente el acuífero Ocozocoautla abarca parcialmente los municipios de Ocozocoautla de Espinoza, Tecpatán y Berriozabal

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

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

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

Ocozocoautla 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, 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.

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 un 80% de la unidad geohidrológica. 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.

El uso de agua subterránea en el acuífero Ocozocoautla presenta la siguiente distribución: el 46% público urbano, 30% para uso agrícola y 24% para uso Industrial, registrando un volumen total de extracción del orden 2.0 Mm<sup>3</sup> al año.

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

Para esta zona se resumieron dos estudios; el primero de ellos realizado por Hidrogeología, S.A., en el año de 1981, denominado "Estudio Geohidrológico Preliminar de los valles de Cintalapa, Ocozocoautla y Villa Flores, Estado de Chiapas". El objetivo general de este estudio fue conocer el funcionamiento del acuífero, régimen de explotación y determinar la geometría del mismo.

Este estudio establece que de acuerdo con las características hidrogeológicas presentes, la zona de estudio puede dividirse en 3 áreas: Meseta de Ocozocoautla, Región de Cintalapa y Cuencas Altas de los Ríos San Juan y Santo Domingo.

Definiendo la Meseta de Ocozocoautla como una zona compuesta de rocas calcáreas de buena permeabilidad que aloja un acuífero escasamente explotado en la porción norte y

drenado hacia el río La Venta. A este respecto el estudio concluye que la explotación de este acuífero es prácticamente nula.

Por su parte la Región de Cintalapa está formada por lomeríos y pequeñas sierras constituidas por conglomerados y rocas graníticas impermeables, las cuales se encuentran cubiertas por una secuencia de materiales granulares de baja permeabilidad, por lo que el acuífero formado en esta región presenta una reducida extensión y baja permeabilidad.

Para estas dos zonas, el estudio, concluye que los acuíferos existentes en estas áreas son de dimensiones reducidas y geometría irregular, alojados en materiales granulares del cuaternario y posiblemente en la secuencia carbonatada del Terciario Superior, con bajas posibilidades para su explotación.

Un segundo estudio examinado fue el realizado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A. en el año de 1979. Los objetivos planteados en el estudio fueron determinar las condiciones de las fuentes de abastecimiento, definir el funcionamiento hidráulico y proponer alternativas de explotación.

El estudio concluye que los acuíferos de la región se encuentran en las formaciones calcáreas con espesores que alcanzan los 300 metros, mientras que los materiales de relleno que cubren a las formaciones calcáreas tienen espesores muy variables que alcanzan los 65 metros en la porción central y valores mínimos de hasta 10 metros, sin saturación alguna, por lo que se descarta esta formación clástica como favorable para el desarrollo de acuíferos, proponiendo como las zonas más favorables la secuencia calcárea existente.

### **3.- FISIOGRAFÍA**

#### **3.1.-Provincia fisiográfica**

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

La región de Tierras Altas de Chiapas y Guatemala, la cual enmarca casi la totalidad del estado, limita al norte con las provincias de la Planicie Costera del Golfo y la de Yucatán; el



oeste con la Provincia de la Sierra Madre del Sur; internándose al sur en la República de Guatemala. Ésta, a su vez, se conforma por las siguientes subprovincias: La Planicie Costera del Pacífico, La Sierra de Chiapas, La Depresión Central, Los Altos (Meseta de Chiapas) y las Sierras Plegadas del Norte (figura No. 4).

Específicamente la zona donde se encuentra el acuífero Ocozocoautla pertenece a las subprovincias denominadas Altos de Chiapas y Sierra de Chiapas, las cuales se localizan 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, a esta sierra se le denomina “Macizo Granítico-Metamórfico de Chiapas”. Esta subprovincia 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 msnm.

### **3.2 Clima**

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la temperatura media anual oscila entre los 22 y 26° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de enero y febrero, mientras que las temperaturas más altas se registran a mediados del 2° trimestre, siendo el mes de mayo el que registra la mayor temperatura, especialmente en la estación Las Limas.

La precipitación media anual de la región es superior a los 1,750 mm, por arriba del promedio nacional. La distribución estacional muestra que durante la temporada de lluvias, que va de junio a septiembre, se concentra la mayor parte de la precipitación, alcanzando valores mensuales de hasta 290 mm, registrados en la estación Progreso, mientras que durante la época de estiaje la lluvia disminuye considerablemente, hasta tomar valores de 50 mm registrados en el mes de marzo.

Con respecto a la evaporación existente dentro de la zona, las estaciones muestran una continua evaporación durante todo el año con valores anuales acumulados que superan los 1,500 mm, y valores mensuales que van desde los 80 hasta los 155 mm, registrando sus valores más altos una relación directa con el incremento de la temperatura.

Con base en los datos climatológicos y a la clasificación de INEGI, se puede observar que en la zona donde se localiza el acuífero Ocozocoautla, 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, 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 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; 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.

Hacia su extremo noroeste, la unidad hidrogeológica Ocozocoautla limita con el acuífero Cintalapa, sobre el trazo de la corriente del río La Venta, siendo su principal formador el río Cintalapa que nace en los límites de los estados de Oaxaca y Chiapas, a unos 25 km al noreste de Tapanatepec. Sigue un rumbo Noroeste por 65 km hasta la ciudad de Cintalapa, donde cambia de dirección hacia el sureste, recorriendo una distancia de 13 km desde este quiebre, al cabo de los cuales recibe por la margen derecha un afluente importante llamado río Zoyatenco y ya juntos continúan con una dirección hacia el noroeste, de la estación Hidrométrica Las Flores el río continúa sensiblemente con una dirección al Norte. En este tramo el río ya se conoce con el nombre de río La Venta, 50 km

aguas a abajo de la estación Las Flores, el río La Venta recibe la aportación del denominado río Encajonado, que propiamente tiene su origen el Cerro Pecho Blanco.

Después de la confluencia del río Encajonado con el río La Venta las corrientes toman el nombre local de río Pueblo Viejo y recorre unos 7 km para llegar a la presa Netzahualcóyotl.

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, la unidad hidrogeológica Ocozocoautla 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.

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 Ocozocoautla se encuentra incluida dentro de la Subregión Alto Grijalva, 30-A.

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 Medio Grijalva que comprende desde la presa La Angostura hasta la presa Malpaso.

La cuenca a la que pertenece el Acuífero Ocozocoautla 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 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. Se puede dividir en dos porciones; la primera que abarca desde la parte central y oriental, y que en términos generales corresponde a una zona abrupta cuyo relieve está en función directa de su litología, así como por las estructuras geológicas predominantes; las areniscas, conglomerados y calizas que conforman elevaciones de flancos escarpados con alturas que no exceden los 600 metros sobre el nivel del mar; también se presentan terrenos poco accidentados que por lo general, sólo afloran hacia la parte más occidental.

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

La Mesa de Ocozocoautla se extiende de noroeste a sureste con una longitud aproximada de 75 km y una elevación aproximada de 1,000 metros sobre el nivel del mar, la porción noreste de la meseta se encuentra disectada por el río La Venta que ha cavado un cañón de hasta 250 metros de profundidad con paredes casi verticales.

Las rocas que constituyen la Mesa de Ocozocoautla, pertenecen al Cretácico Inferior y Medio, siendo en su mayoría calizas; sólo en una pequeña parte del norte afloran areniscas y lutitas del Cretácico Superior, las calizas presentan una topografía cárstica predominando pequeñas elevaciones al este y suroeste de Ocozocoautla y sumideros al sur y sureste.

En lo que se refiere al ciclo geomorfológico, se considera que localmente el valle de la región de Ocozocoautla se encuentra en una etapa de madurez aunque algunas de sus corrientes

podrían considerarse como jóvenes. La Sierra Cristalina pasa por una etapa de juventud debido a que sus corrientes son altamente erosivas y sus paredes tienden a ser verticales.

#### **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, existen también 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 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, Tuliján y Belem, que afloran en la porción septentrional del estado.

Finalmente las rocas del Plioceno-Holoceno están constituidas por depósitos de limos, arenas, arcillas y depósitos piroclásticos derivados de las actividades de los volcanes

Chichonal y Tacaná, así como por materiales aluviales y suelos residuales.

#### 4.1.-Estratigrafía

Las unidades litológicas que se han identificado en la zona de Ocozocoautla, se describen a continuación, de la más antigua a la más reciente:

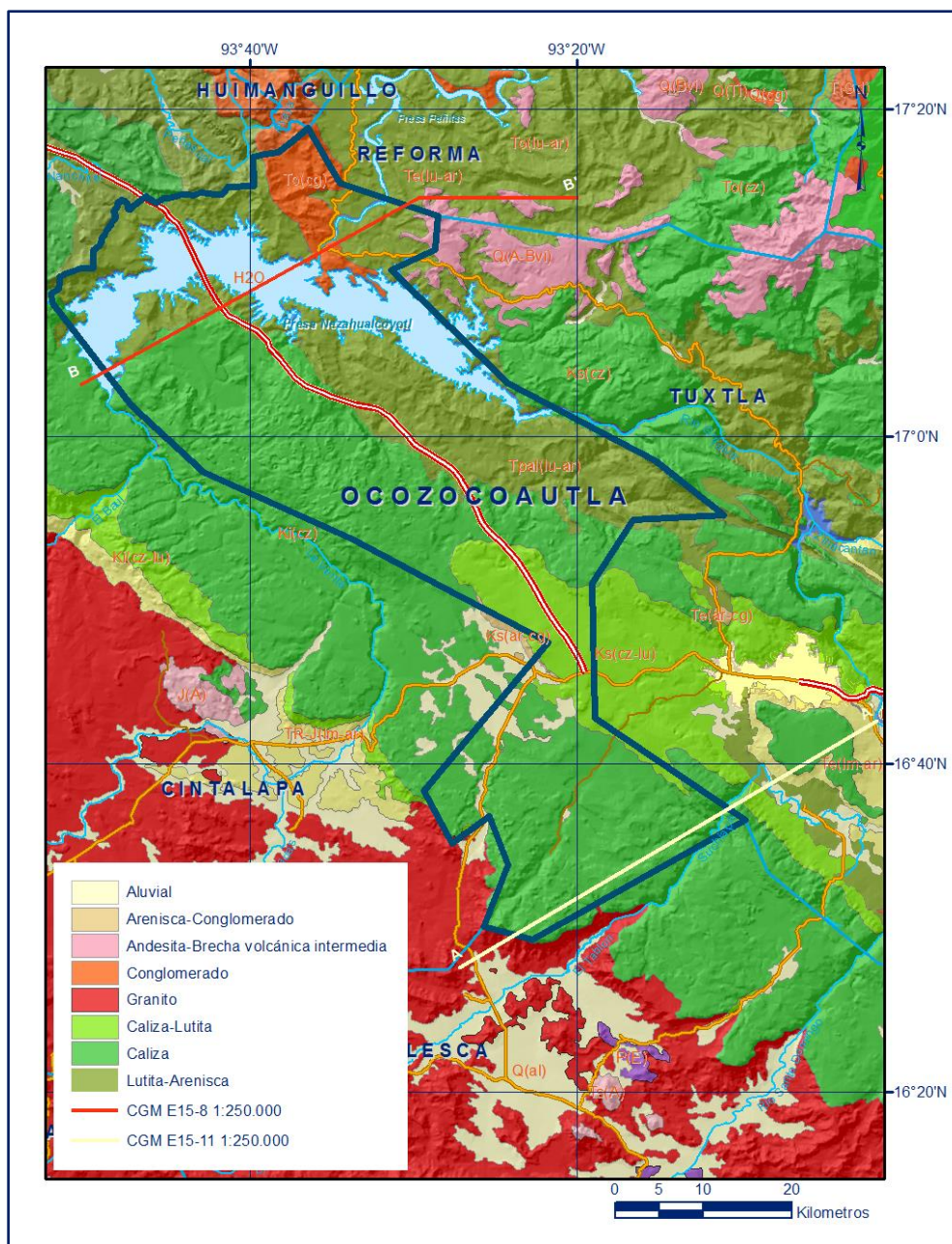


Figura 2. Geología general del acuífero



## Pre-Jurásico Superior.

La Formación Todos Santos, también conocida como Capas Todos Santos o Lechos Rojos, aflora al sur de 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 Norte de Ocozocoautla.

## 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, 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 Jolpahuchil se aplicó a una secuencia de calizas con pedernal depositadas en mares abiertos, posiblemente de plataforma externa.

Con un espesor de 420 metros, el Miembro Cantelhá es la unidad más desarrollada dentro de la sierra, aflora en una franja orientada de NW-SE a lo largo del homoclinal de la sierra y en las culminaciones de las estructuras del altiplano. Está constituida por dolomitas con intercalaciones de calizas; estas intercalaciones permiten suponer un ambiente de depósito de plataforma interna de baja energía. Les subyace a las calizas de Cintalapa y cubre en concordancia al Cretácico Inferior.

Las calizas Cintalapa, afloran desde el río Chalchijapan hasta la frontera con Guatemala,

presentado un espesor de 750 metros, medido al norte del poblado de Cintalapa; se presenta bien estratificada con intercalaciones de dolomita y calizas dolomíticas, las cuales se hacen más abundantes hacia el oriente de Tuxtla Gutiérrez. Evidentemente las calizas Cintalapa se depositaron en una plataforma de escasa profundidad, más somera al E y NE de Tuxtla Gutiérrez, abarcando parte de la zona de Cintalapa.

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

Cretácico Superior.

Brechas Lomas Tristes.- Yace en discordancia sobre la Formación Chinameca, 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 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, descansa directamente sobre el Cretácico Inferior.

Formación Ocozocoautla.- Designa al miembro arenoso conglomerático que aflora al W del poblado del mismo nombre. Al oriente de éste, aflora una secuencia sedimentaria terrígena cuya característica principal es la gran cantidad de cambios laterales que presenta. Descansa sobre las calizas de la Sierra Madre, en su parte inferior se presentan gravillas que subyacen a 190 metros de areniscas calcáreas, bien estratificadas, sobre estas se presenta un espesor de 140 metros de lutitas arenosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas arenosas en capas de 10 a 20 cm.



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

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

Rocas Cenozoicas.

En la parte central de la sierra de Chiapas persiste el depósito de calizas en estratos bien diferenciados con un espesor total de 450 metros, esta formación se correlaciona en tiempo con la Formación Lacandón localizada y depositada al NE de Guatemala.

La Formación Lacandón hacia el sureste del estado se manifiesta constituida en su base por brechas polimícticas con matriz calcárea-arcillosa, empaçando 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 Formación Sepur.

Como se ha hecho mención, en la porción norte y noroccidental de la sierra de Chiapas se manifiestan depósitos de aguas profundas constituidos por brechas cuya matriz empaça fragmentos de rocas de carácter ígneo, tanto extrusivas como intrusivas, así como clastos de calizas, presentando hacia su parte superior intercalaciones de lutitas y areniscas y horizontes calcáreos que gradúan a margas; su espesor total asciende a los 1000 metros, a esta secuencia se le conoce como Formación Soyalo y/o Lutitas Nanchital.

Al sur de la sierra de Chiapas se encuentran depósitos de ambiente continental conformados por lutitas, limolitas y areniscas, alternando con capas de conglomerado, en conjunto esta unidad presenta un espesor total de 600 metros y que se conoce con el nombre de Formación El Bosque. Esta formación hacia la porción central de la sierra de Chiapas se interdigitaliza con sedimentos de facies terrígenas y carbonatos formados 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.

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

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, correlacionables en tiempo con la Formación Caribe, identificada en la República de Guatemala.

El levantamiento de la sierra tuvo su máximo desarrollo en esta época, por ello durante el Plioceno y Pleistoceno la morfología de la zona no sufrió alteraciones hasta la actualidad.

#### **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 Ocozocoautla se encuentra en la denominada Provincia del Macizo Granítico-Metamórfico de Chiapas.

Esta provincia constituye el armazón de la Sierra Madre de Chiapas, aflora con una orientación NW-SE sensiblemente paralela a las costas del Pacífico, su longitud es de aproximadamente 250 km, con un ancho promedio de 70 km, más angosta en su extremo SE que en el NW; su límite oeste se localiza en el Istmo de Tehuantepec, mientras que hacia el sur es cortado por

componentes del sistema de fallas de tipo transcurrente Polochic-Motagua, uno de los rasgos estructurales más notorios que cruza a esta región.

#### **4.3.- Geología del Subsuelo.**

Con base en la información recopilada se puede deducir que la unidad hidrogeológica Ocozocoautla se desarrolla geomorfológicamente sobre a una planicie formada por rocas calcáreas de alta permeabilidad, cubiertas por una secuencia de materiales cuaternarios con espesores que apenas alcanzan unas decenas de metros, esta unidad se encuentran limitadas al norte, éste y sur por elevaciones topográficas y hacia el occidente por el río La Venta, siendo este la principal fuente de descarga.

El acuífero en explotación se encuentra alojado en los materiales clásticos no consolidados, gravas gruesas, arenas y fragmentos de rocas, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre y espesor variable de 10 a 40 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, lo que le confiere cierta impermeabilidad. 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.**

La meseta de Ocozocoautla corresponde a una planicie formada por rocas calcáreas de alta permeabilidad las que se encuentran limitadas al norte, este y sur por elevaciones topográficas y hacia el occidente por el río La Venta, el cual forma un acantilado de varias decenas de metros.

Las rocas calizas de la meseta forman un acuífero de buena permeabilidad el cual es evidenciado por los manantiales existentes en la barranca del Río La Venta, así como por algunos pozos de buen rendimiento ubicados en la porción sur de la mesa, a lo largo de la carretera que comunica a Ocozocoautla. La explotación del agua en esta zona es prácticamente nula.

Hidrológicamente el acuífero presenta una reducida extensión tanto horizontal como vertical, por lo que se puede inferir que el acuífero de Ocozocoautla es de poca magnitud y bajo rendimiento.

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

## **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 estudios anteriores no se han realizado pruebas de bombeo y/o estimaciones a partir de las capacidades específicas o de los cortes litológicos de los pozos, por lo que los parámetros hidráulicos del acuífero de la región no han sido determinados.

No obstante, con base en consideraciones acerca del tipo y granulometría del 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 en esta zona se encuentran entre 1 y 10 metros de profundidad, explotando dicho acuífero principalmente con captaciones de tipo noria, con profundidades hasta de 17 metros, donde la extracción de agua 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.

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 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 bajo contenido de sales lo que ratifica la poca disolución de las rocas por las que circula el agua subterránea. Las escasas 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, así como 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, los que existen en los macizos montañosos son de bajo caudal, por lo que 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:

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

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

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

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

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

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

- Bombeo de captaciones (B)
- Evapotranspiración (Evt)
- Manantiales (M)
- Descargas Naturales (Dn)

Bombeo.- A este respecto la información recopilada no contiene datos precisos de los volúmenes extraídos por bombeo, la mayoría de los aprovechamientos identificados son norias, donde el agua que se extrae es de forma manual a través de herramientas simples como cuerdas y cubetas, se reporta un volumen de extracción de 2.0 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 1.87 Mm<sup>3</sup>, equivalente a 0.05 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 debido a que la extracción de agua subterránea es incipiente, con el fin de obtener un valor mínimo probable de recarga se optó por no considerar este parámetro en el 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, 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 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.

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 está se infiltra hasta alcanzar la superficie freática del acuífero, y eventualmente aflora en una corriente superficial como gasto base.

En términos generales, este gasto es aportado por el acuífero durante la época de estiaje al escurrimiento superficial que alimenta dicha corriente. Técnicamente la determinación de su magnitud puede servir de fundamento para la definición del potencial del acuífero, conocida la variación de los gastos con respecto al tiempo en un río. Esto es, si se dispone de varias estaciones hidrométricas, el método mencionado se aplicará a los tramos comprendidos entre ellas, para conocer la distribución de esta descarga a lo largo del cauce. A pesar de la imprecisión propia de este tipo de balances, el resultado anterior muestra el valor mínimo probable de recarga existente en la unidad hidrogeológica.

A este respecto en la zona de Ocozocoautla se tienen datos de las siguientes estaciones hidrométricas: Las Flores II, Santa María, Malpaso II, Grijalva, El Toro y



Yamonho, éstas últimas dejaron de funcionar desde al año 1956, figura. No.9.

La estación Santa María, se localiza sobre el río Encajonado, 10 km aguas arriba del vaso de la Presa Netzahualcóyotl, 4 km aguas arriba de la confluencia con el río La Venta, cubriendo una superficie drenada de 1,958 km<sup>2</sup>. La mayor parte de su cuenca es terreno montañoso de pendiente fuerte, selvática y poca habitada. En lo que respecta a la estación Las Flores II, ésta se localiza a unos 60 km al oeste de Tuxtla Gutiérrez, en el puente llamado Las Flores, perteneciente a la Carretera Panamericana sobre el río Zanatenco. Este río drena una superficie de 2,551 km<sup>2</sup>.

La estación Grijalva se encuentra sobre el río del mismo nombre, dos kilómetros aguas abajo de la confluencia del río Chicoasén y 30 kilómetros al norte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en el municipio de Chicoasén.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas dos corrientes, se realizaron los hidrogramas de las dos 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). De estas estaciones, se tomaron los valores de caudales correspondientes a los meses de estiaje (marzo-mayo), como valores mínimos probables, los cuales fueron proyectados a un periodo de un año, obteniéndose para la estación Santa María un caudal de 11.9601 m<sup>3</sup>/s y 0.3751 m<sup>3</sup>/s en la estación Las Flores II, resultando un caudal total al río La Venta de 12.3352 m<sup>3</sup>/s.

Cabe destacar que la totalidad de la superficie drenada de las estaciones Las Flores II y Santa María se encuentra en la región de Cintalapa, sobre la margen izquierda del río La Venta, límite con el acuífero de Ocozocoautla, de tal forma, y considerando que se conoce el volumen de descarga sobre el río La Venta en su margen izquierda y la existencia de la estación El Toro aguas abajo, se estimó por diferencia, la recarga proveniente de la margen derecha del río la Venta.

No obstante que la estación El Toro ya desapareció, se tomó el valor correspondiente al periodo de 1956 a 1966, año en que dejó de funcionar, obteniéndose un valor de 15.5800 m<sup>3</sup>/s, este valor se comparó con los valores obtenidos, para el mismo periodo, en las estación las Flores II y Santa María, de

12.3352 m<sup>3</sup>/s. La diferencia de estos datos señala un caudal de 3.2448 m<sup>3</sup>/s, que se asume proviene de la margen derecha del río La Venta, territorio del acuífero de Ocozocoautla.

Del mismo modo se procedió con las estaciones Grijalva y Yamonho, localizadas al norte de la zona de estudio, en estas estaciones se puede observar que los caudales calculados entran directamente al acuífero Ocozocoautla, con valores de 2.8811m<sup>3</sup>/s en la estación Yamonho y 110.2522 m<sup>3</sup>/s en la estación Grijalva.

Con base en lo anterior y siguiendo la trayectoria del río, se observa que el acuífero Ocozocoautla presenta una salida natural, cuantificada en la estación Hidrométrica de Malpaso II, con un caudal estimado de 120.9079m<sup>3</sup>/s.

Los resultados obtenidos para el periodo de 1950-1969, se concentran en la tabla siguiente:

Estación	Superficie drenada km <sup>2</sup>	Gasto m <sup>3</sup> /s	Volumen anual Mm <sup>3</sup>
Las Flores	2,551	0.37	11.67
Santa María	1,958	11.96	377.17
El Toro	6,300	15.58	491.33
Grijalva	26,538	110.25	3,476.84
Yamonho	208	2.88	90.82
Malpaso II	34,985	120.91	3,813.02

Considerando los datos obtenidos en las estaciones hidrométricas se tiene que en el río La Venta, sobre su margen derecha se aporta un caudal de 3.24 m<sup>3</sup>/s. Por otra parte, sobre el río Grijalva se tiene estimado un caudal de 110.25 m<sup>3</sup>/s, y de la estación Yamonho 2.88m<sup>3</sup>/s, lo que resulta un ingreso total en la zona de Ocozocoautla de 116.37 m<sup>3</sup>/s, y escapan del acuífero a través de la estación Malpaso II 120.91 m<sup>3</sup>/s, la diferencia de estos valores es de 4.54 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 143 Mm<sup>3</sup>/año.

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

$$R = D + B$$

Donde:

R = Recarga total.

D = Descargas naturales.

B = Bombeo en intervalo de tiempo.

Sustituyendo:

$$R = 180.0 + 0$$

$$R = 180.0 \text{ Mm}^3$$

que corresponde a una recarga media anual de **180.0** Mm<sup>3</sup>.

## 7. DISPONIBILIDAD

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

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

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 **180.0 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 **6,756,754 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 180.0 - 0.0 - 6.756754 \\ \text{DMA} &= 173.243246 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

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.
- SARH, “Estudio de Fuentes de Abastecimiento para Ocozocoautla, Chiapas”, Elaborado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A. en el año de 1979.
- SARH, “Estudio Geohidrológico Preliminar de los Valles de Cintalapa-Ocozocoautla- Villaflores, Estado de Chiapas”, Elaborado por HIDROGEOLOGÍA, S.A., 1981.
- 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.