



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CINTALAPA (0705), ESTADO DE
CHIAPAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero.....	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia Fisiográfica	6
3.2 Clima	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	10
4.1 Estratigrafía	11
4.2 Geología Estructural	16
4.3 Geología del subsuelo	16
5. HIDROGEOLOGÍA.....	17
5.1 Tipo de acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos.....	17
5.3 Piezometría.....	18
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
5.5 Comportamiento hidráulico.....	19
6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
6.1 Entradas	21
6.2.1 Recarga vertical (Rv)	21
6.2.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	21
6.2 Salidas.....	21
6.2.1 Extracción por bombeo (B)	21
6.2.2 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	21
7. DISPONIBILIDAD	22
8.1 Recarga total media anual (R)	22
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	23
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	23
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
8. BIBLIOGRAFÍA	25

1. GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1. Localización

El acuífero Cintalapa, definido con la clave la 0705 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oriental del estado de Chiapas y cubre una superficie aproximada de 5,445 km² (Figura 1).

El estado de Chiapas se localiza al sureste de la República Mexicana, limitado 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 70,254 km², ocupando el octavo lugar a nivel nacional.

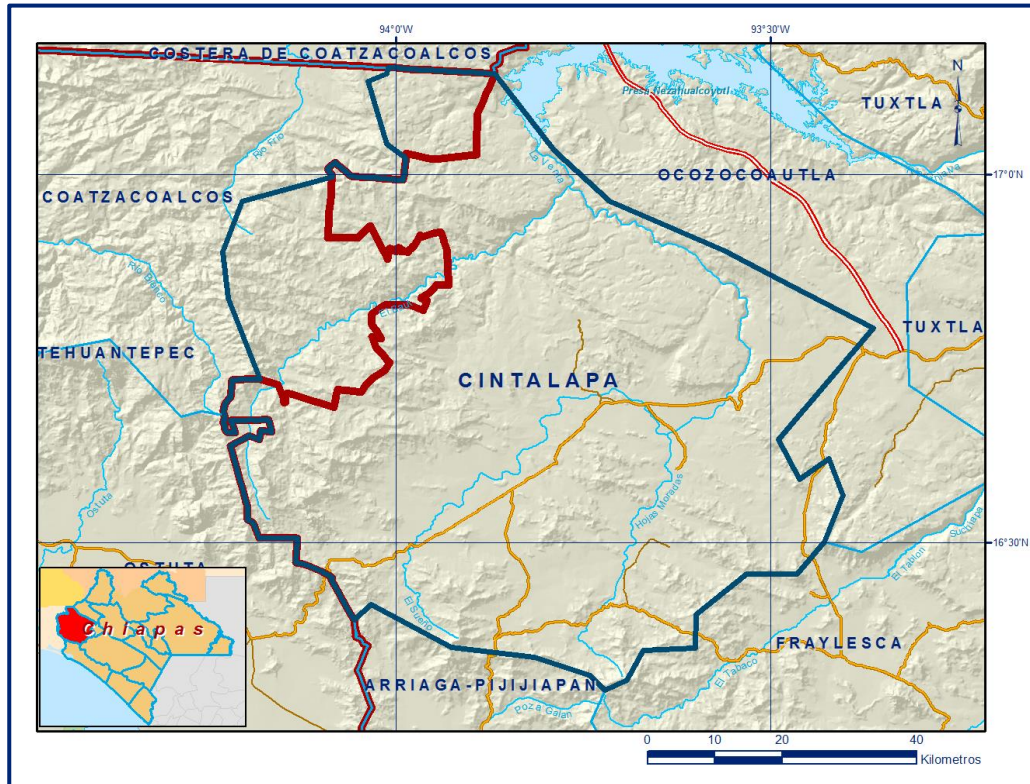


Figura 1. Localización del acuífero

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%, finalmente el municipio de Tonalá con el 2.0%, el resto de los municipios abarcan en conjunto el 70%.

Está representada por la clave geohidrológica CHA05. Limita al norte y noreste con el acuífero Ocozocoautla, al noroeste con el estado de Oaxaca, al sur con el acuífero denominado Arriaga-Pijijiapan y al noroeste con el acuífero Fraylesca. Cabe señalar que una porción del acuífero de Cintalapa se encuentra dentro del territorio del estado de Oaxaca.

Geográficamente se localiza en la porción oriental del estado, límite con el estado de Oaxaca. La infraestructura carretera es escasa, destacando solamente la carretera Federal No. 190 la cual establece comunicación entre la capital estatal con el estado de Oaxaca. Además de esta vía sólo existen algunos caminos de terracería.

Geopolíticamente el acuífero de Cintalapa abarca de forma parcial los municipios de: Ocozocoautla, Jiquipilas, San Miguel Chimalapa, Santa María Chimalapa y cubre totalmente el municipio de Cintalapa, de donde toma su nombre.

Las principales actividades a las que se dedica la población económicamente activa son en primera instancia a 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, frijól y hortalizas.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0705 CINTALAPA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	94	B	45.2	16	40	210	DEL 1AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	94	D	514	16	43	18.7	
3	94	B	26.0	16	49	52.0	
4	94	B	54.0	16	53	42.5	
5	94	D	17.4	16	57	45.6	
6	94	5	6.3	16	59	44.9	DEL 6AL 7 POR EL LIMITE ESTATAL
7	93	59	B.5	17	1	19.4	
8	94	0	44.7	17	2	28.3	
9	94	2	14.9	17	7	34.2	
10	94	0	43.7	17	8	10.0	
11	94	0	36.8	17	8	39.6	DEL 11AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	93	52	4.8	17	8	9.3	
13	93	47	16.9	17	1	55.2	
14	93	42	518	16	57	48.9	
15	93	33	417	16	53	44.4	
16	93	28	213	16	50	53.0	
17	93	21	46.3	16	47	26.2	
18	93	29	24.4	16	38	22.3	
19	93	27	410	16	35	9.4	
20	93	25	213	16	36	48.7	
21	93	24	2.5	16	33	514	
22	93	25	43.0	16	30	2.5	
23	93	27	52.9	16	27	25.0	
24	93	31	56.8	16	27	23.9	
25	93	35	59.6	16	24	7.4	
26	93	36	4.2	16	21	23.2	
27	93	40	116	16	21	14.0	
28	93	41	30.6	16	18	48.2	
29	93	43	16.4	16	17	57.5	
30	93	44	27.2	16	19	8.1	
31	93	48	55.8	16	20	39.0	
32	93	55	35.5	16	21	28.5	
33	94	2	0.0	16	24	55.9	
34	94	3	22.3	16	23	410	DEL 34 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	94	B	45.2	16	40	210	

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 Cintalapa 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 Km² y representa el 5.3% del territorio nacional.

Sus coordenadas extremas son las siguientes: al norte los 18°39' y al sur los 14°32' Latitud Norte; al extremo oriente se ubica en los 90°22' y al oeste en los 94°38'. Cuenta con abundantes recursos naturales y una compleja orografía que ha dificultado a través del tiempo su integración al desarrollo del resto del país.

Se encuentra en vigor en la zona el decreto de veda tipo I "Río Grijalva", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de octubre de 1957. No se tiene conocimiento de organizaciones de usuarios de agua subterránea, ni de distritos o unidades de riego, probablemente debido a la abundancia de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso de agua subterránea en el acuífero de Cintalapa queda definido únicamente por los usos agrícola y público urbano, registrando un volumen del orden de 1.2 y 0.77 Mm³ al año, respectivamente.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Para esta zona se revisó el estudio 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 en la zona de estudio puede dividirse en 3 áreas: Meseta de Ocozocoautla, Región de Cintalapa y Cuencas Altas de los Ríos de San Juan y Santo Domingo.

Define a la Meseta de Ocozocoautla como una zona compuesta de rocas calcáreas de buena permeabilidad que aloja un acuífero escasamente explotado en la porción 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.

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 al oeste con la Provincia de la Sierra Madre del Sur; internándose al sur en la República de Guatemala. Está, a su vez, se conforma por las siguientes subprovincias: La Planicie Costera del Pacífico, La sierra de Chiapas, La Depresión Central, Los Altos (meseta de Chiapas) y las Sierras Plegadas del Norte.

Específicamente la zona donde se encuentra el acuífero Cintalapa pertenece a la subprovincia Sierra Madre de Chiapas, la cual se localiza al noroeste de la planicie costera del Pacífico y se denota como una gran estructura que se levanta abruptamente con respecto a las tierras bajas con una orientación NW-SE, a ésta sierra se le denomina “Macizo Granítico-Metamórfico de Chiapas”, conformada por 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 altitudes del orden de los 900 msnm que aumentan gradualmente hacia el sureste cerca de la frontera con Guatemala a 2,900 metros de altura con respecto al nivel mar.

En la parte superior de la sierra se forma un parteaguas donde su flanco noreste desciende con una pendiente relativamente suave hacia la cuenca del río Grijalva, presentando un drenaje complicado que en ocasiones favorece la formación de cañones. El flanco suroeste es abrupto y por el fluyen pequeñas e impetuosas corrientes descendiendo a la planicie costera del pacífico.

3.2 Clima

Geográficamente el estado de Chiapas queda comprendido dentro de la zona tropical, presentando de acuerdo con su configuración orográfica una gran variedad de climas que van desde el templado subhúmedo a cálido húmedo con lluvias registradas en todo el año. Con el fin de conocer las características atmosféricas de la zona de Cintalapa, se recopilaron datos climatológicos en el Servicio Meteorológico Nacional de las estaciones que se encuentran emplazadas en la zona de interés. Particularmente dentro del acuífero de Cintalapa se localizaron las estaciones Climatológicas: Santa María (1961 a 1998), La Providencia (1961-2000) y La Unión (1962-1999).

La temperatura oscila entre los 22 y los 27° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de diciembre a febrero, mientras que las temperaturas más altas se registran a mediados del segundo trimestre. Siendo el mes de mayo el que registra la mayor temperatura, especialmente en la estación de Cintalapa. La precipitación media anual de la región es superior a los 1,600 mm, por arriba del promedio nacional.

La distribución estacional muestra que durante la temporada de lluvias, que dura de 4 a 5 meses, de Junio a Septiembre-Octubre, 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. Con respecto a la evaporación existente dentro de la zona se puede observar que las estaciones muestran durante todo el año una continua evaporación con valores acumulados al año que superan los 1,000 mm. Con valores mensuales que van de los 70 hasta los 160 mm, que presentan una relación directa con el incremento de la temperatura.

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 accidentada en las partes altas.

En el estado de Chiapas se complementa la Cuenca Hidrológica del Grijalva-Usumacinta con el río Mezcalapa que nace en la vertiente del macizo de Chiapas en su porción noreste, la que está integrada por una gran cantidad de tributarios que se abastecen principalmente del río Grande de Chiapas y aguas provenientes de la Presa Netzahualcóyotl, para abandonar el estado con dirección al Golfo de México.

Particularmente en el acuífero de Cintalapa, las principales corrientes que existen son el río Cintalapa, que nace en los linderos del estado de Oaxaca y de Chiapas a unos 25 km al noreste de Tepanatepec, sigue con un rumbo noreste por 65 km hasta Cintalapa donde cambia de dirección hacia el sureste a lo largo de 13 km, al cabo de los cuales recibe por la margen derecha un afluente importante llamado río Zoyatenco y ya juntos continúan con rumbo noroeste.

En este tramo se conoce ya como río La Venta, a 50 km aguas abajo el río recibe por su margen izquierda al río Encajonado, que propiamente tiene su origen con un punto común del parteaguas con el Cintalapa en el cerro Pecho Blanco. Originalmente el Río Encajonado tiene un tramo de sur a norte y luego fluye hacia el noroeste.

Después de la confluencia del río Encajonado con el río La Venta la corriente toma el nombre de Pueblo Viejo y aún recorre unos 7 km para llegar a la presa Netzahualcóyotl y por lo tanto el afluente pierde su identidad.

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, El acuífero Cintalapa se localiza dentro de la denominada Región Hidrológica No. 30, Grijalva- Usumacinta.

Siendo ésta región 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 El acuífero Cintalapa se encuentra incluida dentro de la Subregión denominada 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 de la Angostura y la Medio Grijalva que comprende desde la presa La Angostura hasta la presa Malpaso, zona donde se encuentra el acuífero de Cintalapa. La cuenca a la que pertenece el Acuífero de Cintalapa 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. Específicamente en la zona de Cintalapa se encuentran los ríos: Encajonado, Cintalapa y Zoyatenco, mismos que desembocan al Río La Venta, que a su vez alimenta a la presa Netzhualcóyotl.

3.4 Geomorfología

Geomorfológicamente el estado de Chiapas forma parte de las cadenas frontales septentrionales de la provincia conocida como Sierra Madre de Chiapas, la cual constituye el límite austral de la llamada Costera del Golfo de México.

Se puede dividir en dos porciones; la primera que abarca desde la parte central y oriental, y que en términos generales corresponde a una zona abrupta cuyo relieve está en función directa de su litología, así como por las estructuras geológicas predominantes; las areniscas, conglomerados y calizas que conforman elevaciones de flancos escarpados con alturas que no exceden los 600 metros sobre el nivel del mar; también se presentan terrenos poco accidentados que por lo general, solo afloran hacia la parte más occidental. Y una segunda unidad geomorfológica 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 SW que se presenta más abrupto lo que da idea de la existencia de bloques afallados, las rocas que constituyen esta zona son de composición granítica y edad paleozoica.

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

Mientras que la Sierra Cristalina pasa por una etapa de juventud debido a que sus corrientes son altamente erosivas, además de no existir valles en esta unidad geomorfológica.

4. GEOLOGÍA

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

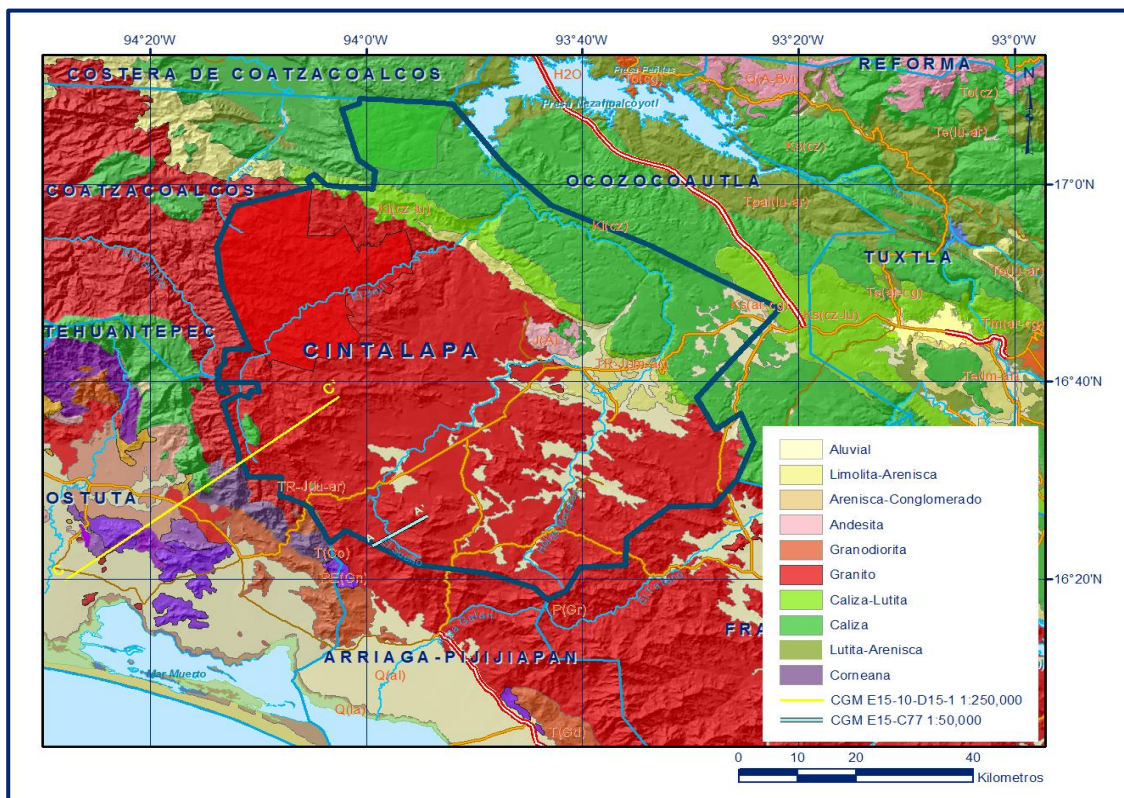


Figura 2. Geología general del acuífero

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 Grupera.

Tales rocas se encuentran afectadas por intrusiones plutónicas que pertenecen al Batolito de Chiapas, lo que geográficamente se denomina como macizo granítico de Chiapas.

Cubriendo a la secuencia antes descrita, se tiene el depósito de rocas mesozoicas marinas representadas por una secuencia detrítico-calcárea que va del Triásico-Jurásico al Cretácico Superior, representada por las formaciones Todos Santos, Mogoñe, San Ricardo, Chinameca, Grupo Sierra Madre, Ocozocoautla y Méndez, las cuales afloran principalmente en la porción centro septentrional de la entidad, constituyendo zonas montañosas abruptas que fisiográficamente se conocen como Sierra Madre Oriental. Sobre la secuencia de rocas mesozoicas se encuentra un paquete de rocas cenozoicas cuyo rango de depósito abarca del Paleoceno (Formación Soyaló) al Plioceno (Formación Tres Puentes). Las rocas paleocénicas son de origen marino y constituyen depósitos rítmicos tipo flysch. Por su parte, las rocas eocénicas de naturaleza mixta (continental y marina) representan capas rojas en el límite con el Oligoceno marino, cuyas rocas están representadas por calizas (Formación Macuspana) y rocas detríticas (Formación La Laja), mismas que afloran principalmente hacia el oriente del estado.

Por su parte, las rocas del Mioceno son de origen marino y están conformadas por una serie arcillo-calcárea representada por las formaciones Encanto, Amate Inferior y Superior, 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

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

PRE-JURÁSICO SUPERIOR

La Formación Todos Santos, también conocida como Capas Rojas Todos Santos o Lechos Rojos, aflora al sur de la localidad 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 ellas, aportando parte del material ígneo efusivo que aparece en esta formación.

Al oriente de Cintalapa, los Lechos Rojos desaparecen por acuñaamiento junto con las capas de la Formación San Ricardo, bajo las calizas del Cretácico Medio, para aflorar nuevamente al Sur-Sureste de Tuxtla Gutiérrez.

CRETÁCICO INFERIOR

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

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

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 acuñaamiento 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, Cantalá y Jolpabuchil, restringiendo el miembro Cantalá al Cretácico Medio y el Jolpabuchil al Cretácico Superior.

El nombre Cantalá fue aplicado a un cuerpo de dolomitas que afloran sobre el río Cantalá, mientras que el término Jolpabuchil se aplicó a una secuencia de calizas con pedernal depositadas en mares abiertos, posiblemente de plataforma externa.

Con un espesor de 420 metros, el Miembro Cantalá es la unidad más desarrollada dentro de la sierra, aflora en una franja orientada de NW-SE a lo largo del homoclinal de la sierra y en las culminaciones de las estructuras del altiplano.

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

Las calizas Cintalapa, afloran desde el río Chalchijapan hasta la frontera con Guatemala, presentado un espesor de 750 metros, medido al norte del poblado de Cintalapa.

Se presenta bien estratificada con intercalaciones de dolomita y calizas dolomíticas, las cuales se hacen más abundantes hacia el oriente de Tuxtla Gutiérrez. Evidentemente las calizas Cintalapa se depositaron en una plataforma de escasa profundidad, más somera al E y NE de Tuxtla Gutiérrez, abarcando parte de la zona de Cintalapa.

CRETÁCICO SUPERIOR

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

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

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

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

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 con matriz calcárea-arcillosa, empacando fragmentos de calizas cretácicas. El ambiente que generó este depósito varió de aguas someras hacia la parte sur y de aguas profundas hacia el norte donde es nombrada como Formación Sepur.

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 empaca 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 1,000 metros, a esta secuencia se le conoce como Formación Soyaló 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, caracterizado por alternancias de calizas, brechas y lutitas arenosas, que en conjunto se denominan Formación Mompuyil.

En forma contemporánea hacia la porción norte del poblado de Pichucalco, se tienen procesos de sedimentación de lutitas y areniscas cubiertas por calizas arrecifales, esta unidad cambia gradualmente a sedimentos terrígenos hacia el norte y al occidente de Chiapas a ambientes profundos, producto del efecto de basculamiento de dos grandes bloques limitados por una falla de transurrencia 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, correlacionable en tiempo con la Formación Caribe, identificada en la República de Guatemala. El levantamiento de la sierra tuvo su máximo desarrollo en esta época, por ello durante el Plioceno y Pleistoceno la morfología de la zona no sufrió alteraciones hasta la actualidad.

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 tectónismo y en especial los que han actuado en la Sierra de Chiapas, dieron origen a la formación de cinco provincias de carácter morfotectónico y cuyos límites se han fijado con base en trabajos realizados por geólogos de PEMEX. Particularmente la zona donde se localiza el acuífero de Cintalapa 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 paralelo a las costas del Pacífico, su longitud es de aproximadamente 250 km, con un ancho promedio de 70 km, más angosto 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

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado en materiales clásticos no consolidados del cuaternario, con una reducida extensión tanto horizontal como vertical, y un espesor promedio de 40 metros.

Esta unidad se encuentra limitada por rocas graníticas tanto horizontal como verticalmente, aunque no se descarta la continuidad hidráulica dado el fracturamiento que presentan las rocas cristalinas. Superficialmente las áreas receptoras más importantes, del acuífero, se localizan en las partes altas de las sierras, donde existen extensos afloramientos de rocas fracturadas, y en los flancos montañosos donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El área de Cintalapa se encuentra limitada principalmente al norte por grandes elevaciones topográficas, dentro de esta zona se aprecian un gran número de pequeñas sierras y lomeríos.

De acuerdo con la información existente, el acuífero en explotación se encuentra alojado en los materiales clásticos no consolidados, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre y espesor variable. Debajo de los materiales clásticos se ha medido un espesor de entre 6 y 40 metros de material granular producto de la erosión e intemperismo de las rocas graníticas, así como de los conglomerados jurásicos existentes en esta zona.

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

Hidrológicamente el acuífero presenta una reducida extensión tanto horizontal como vertical, por lo que se puede inferir que el acuífero de Cintalapa es de poca magnitud y bajo rendimiento, abasteciendo únicamente, por medio de excavaciones poco profundas y medios mecánicos las necesidades de agua para uso doméstico de pequeñas comunidades. Su principal fuente de recarga es la precipitación, captando, además, aportaciones de aguas laterales provenientes de rocas permeables, principalmente 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, los estudios anteriores no han realizado pruebas de bombeo y/o estimaciones a partir de las capacidades específicas o de los cortes litológicos de los pozos, por esto resulta muy aventurado mencionar los parámetros hidráulicos que existen en el acuífero de la región debido a lo escaso de la información existente y a los pocos estudios a detalle que se han realizado en la zona.

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

De tal forma, considerando que en la mayor parte de la zona predominan los materiales clásticos de relleno de grano fino a medio, y que el acuífero se comporta como libre, su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, el cual varía en el rango de 0.15 a 0.3.

5.3 Piezometría

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

No se tiene cuantificado el total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce.

Es importante señalar que en los 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 de los acuíferos subyacentes, se considera que el agua subterránea es apta para todo uso, cumpliendo con las normas de calidad establecidas para consumo humano.

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

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.

La recarga natural del acuífero es originada, principalmente, por infiltración de la lluvia y del escurrimiento superficial. Las áreas receptoras más importantes se localizan en las partes altas de las sierras, donde la precipitación pluvial es mayor y hay extensos afloramientos de rocas fracturadas, y en los flancos montañosos (pie de monte) donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso. Aunque existen algunos manantiales en las zonas aledañas a las sierras, no existen manantiales importantes en los macizos montañosos, suponiendo que la mayor parte del agua infiltrada se percola a profundidad para incorporarse al acuífero regional, que la transmite hacia las áreas de descarga bajo el control de la gravedad y de la estructura geológica. La descarga natural del acuífero tiene lugar en varias formas: por evapotranspiración, a través de manantiales y, subterráneamente, hacia cuencas adyacentes. La evapotranspiración de agua subterránea tiene lugar en las áreas donde los niveles freáticos están a menos de unos 10 m de la superficie del terreno, de manera que pueden ser alcanzados por las raíces de la vegetación nativa.

Con respecto a los manantiales, la información recopilada señala que existen manantiales hacia las inmediaciones de las sierras y contactos litológicos, no obstante, estos no son permanentes y se agotan después de la época de lluvia.

Las salidas hacia las cuencas o acuíferos adyacentes se realizan a través de los caudales base. De manera artificial a través de los aprovechamientos de aguas subterráneas como son los pozos y norias, distribuidas en el acuífero.

6. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Entradas} & & \text{Salidas} & & \text{Cambio de} \\ \text{(E)} & - & \text{(S)} & = & \text{almacenamiento} \end{array}$$

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

$$\begin{array}{rcccl} \text{Recarga} & & \text{Descarga} & & \text{Cambio de} \\ \text{total} & - & \text{total} & = & \text{almacenamiento} \end{array}$$

A este respecto en la zona de Cintalapa se tienen las estaciones hidrométricas: Las Flores y Santa María. 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 km².

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, 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 Zatatenco. Este río drena una superficie de 2,551 km².

Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas dos corrientes, se realizaron sus hidrogramas, tomando los valores de los caudales mínimos registrados durante el año. Se analizaron los periodos 1950-1969 y 1959-1999; el primero de ellos con datos tomados del Boletín Hidrológico No.38, de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el segundo periodo se analizó con base al Sistema de Información de Aguas Superficiales desarrollado por el IMTA, como Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS).

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

El valor promedio obtenido de estos tres meses, fue proyectado a un periodo de un año. Este valor se considera como el volumen mínimo probable que aporta el acuífero a las corrientes superficiales como caudal base. Los resultados obtenidos permiten estimar un volumen de **298.0 hm³/año**.

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

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

6.1 Entradas

6.2.1 Recarga vertical (Rv)

$$Rv = B + Sh \pm \Delta V(S) - Eh$$

De esta manera, Rv= **320.4 hm³/año**.

6.2.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Se consideran nulas

6.2 Salidas

De manera natural, todavía se presenta una salida subterránea por flujo base

$$Sfb=298.0 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

6.2.1 Extracción por bombeo (B)

.El valor de la extracción por bombeo asciende a **22.4 hm³/año**

6.2.2 Cambio de almacenamiento ($\Delta V(S)$)

El cambio de almacenamiento es nulo

$$\Delta V(S)=0$$

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones (Rv), mediante la expresión que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} Rv &= B + Sh \pm \Delta V(S) - Eh \\ Rv &= 22.4 + 298.0 - 0.0 - 0.0 \\ Rv &= 320.4 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total es la suma de todas las entradas:

$$R = 320.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

7. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso, su valor es de **320.4 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para este caso, su valor es de **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es **25,148,200 m³ 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 **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 320.4 - 0.0 - 25.148200 \\ \text{DMA} &= 295.251800 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **295,251,800 m³ anuales.**

8. BIBLIOGRAFÍA

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

SARH, “Estudio Geohidrológico Preliminar de los Valles de Cintalapa-Ocozocoautla-Villaflores, Estado de Chiapas”, Elaborado por HIDROGEOLOGÍA, S.A., 1981