CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Trinitaria (0708), estado de Chiapas

Ciudad de México, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1. Localización 2
1.2. Situación Administrativa del acuífero 4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD 5
3. FISIOGRAFÍA 6
3.1 Provincia Fisiográfica 6
3.2 Clima 6
3.3 Hidrografía 7
4. GEOLOGÍA 10
4.1 Estratigrafía 11
4.2 Geología Estructural 15
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 19
6.1 Entradas 21
6.1.1 Recarga vertical (Rv) 21
6.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 21
6.2 Salidas 21
6.2.1 Extracción por bombeo (B) 22
6.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS) 22
7. DISPONIBILIDAD 22
7.1 Recarga total media anual (R) 23
7.2 Descarga natural comprometida (DNC) 23
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 23
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 24
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 La Trinitaria, definido con la clave 0708 por la Comisión Nacional del Agua cuyas 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' (Figura 1). 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. El acuífero cubre una superficie aproximada de 3,439.5 km^2.

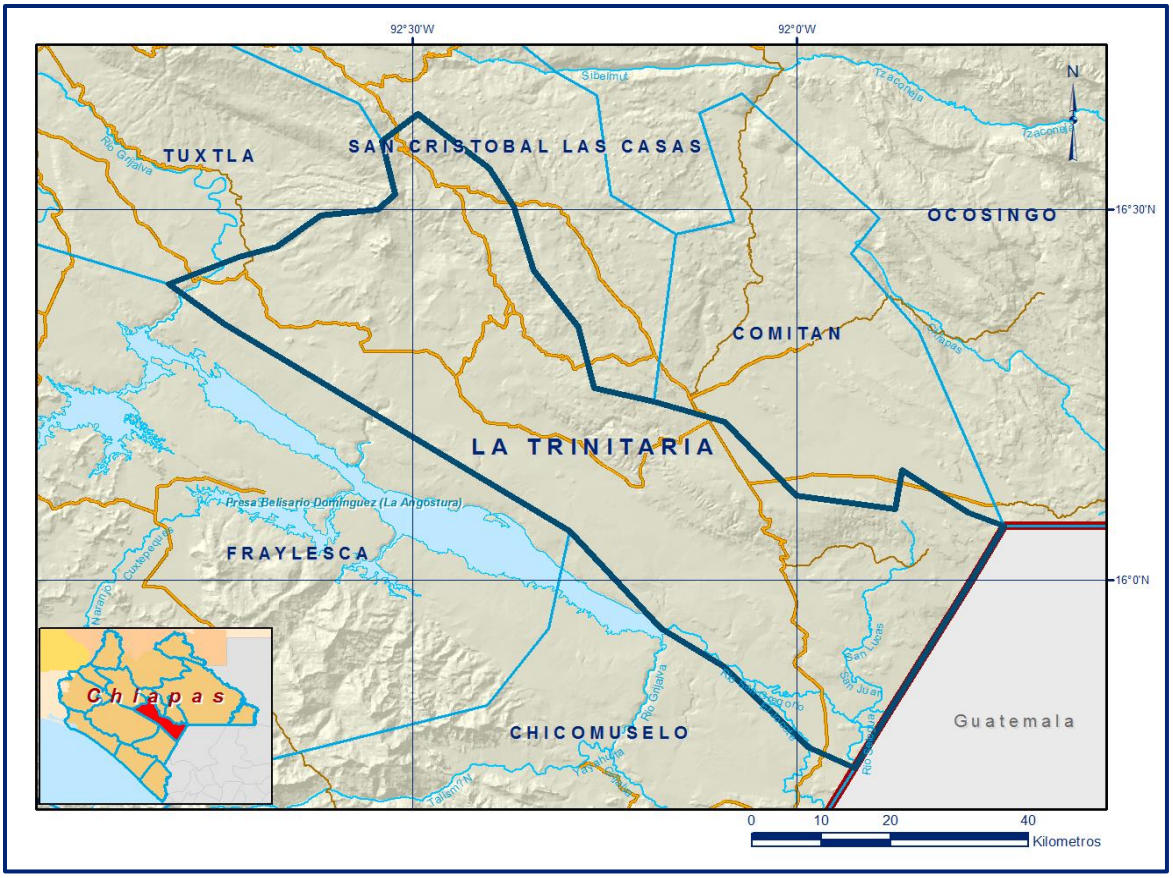

Figura 1. Localización del acuífero

Limita al norte con el acuífero San Cristóbal Las Casas, al este con el acuífero Comitán, al sur con el acuífero Chicomuselo y al poniente con el acuífero Fraylesca. Sus límites naturales están determinados al noreste por el anticlinal de La Trinitaria y al suroeste por el río Grijalva.

Políticamente el acuífero La Trinitaria abarca parcialmente los municipios de: La Trinitaria. Comitán de Domínguez, Socoltenango, Venustiano Carranza, Totolapa, Teopisca, Acala, Nicolás Ruiz, Amatenango y Frontera y cubre completamente a los municipios de Tzimol y Las Rosas.

El estado está conformado por 112 municipios, los 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%.

La Unidad Hidrogeológica denominada La Trinitaria, se localiza en la parte nororiental del estado de Chiapas. El desarrollo económico de la región se fundamenta principalmente en las actividades relacionadas con el sector primario (agricultura y ganadería), destacando la ganadería dentro de las principales a las que se dedica la población económicamente activa, la actividad que le sigue en importancia es la agricultura, siendo ésta de régimen temporal en las zonas alejadas a los arroyos y ríos. Dentro los principales cultivos destacan el maíz, sorgo, fríjol y en menor proporción las 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 0708 LA TRINITARIA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	91	55	32.0	15	44	44.5	
2	91	59	2.6	15	46	25.4	
3	92	5	513	15	53	4.2	
4	92	10	38.0	15	56	5.8	
5	92	17	46.8	16	3	56.1	
6	92	44	45.0	16	20	45.0	
7	92	49	3.8	16	23	55.3	
8	92	43	35.4	16	26	7.5	
9	92	40	39.6	16	26	57.5	
10	92	37	16.2	16	29	29.2	
11	92	32	48.9	16	29	58.5	
12	92	31	24.5	16	31	14.4	
13	92	32	28.0	16	35	312	
14	92	29	37.9	16	37	42.7	
15	92	24	3.6	16	33	18.8	
16	92	22	10.9	16	30	15.3	
17	92	20	36.5	16	25	4.0	
18	92	17	5.3	16	20	27.5	
19	92	15	53.4	16	15	317	
20	92	11	13.0	16	14	24.3	
21	92	5	40.4	16	12	48.4	
22	92	0	8.1	16	6	47.9	
23	91	52	22.8	16	5	42.9	
24	91	51	48.7	16	8	54.2	
25	91	46	411	16	5	29.0	
26	91	43	50.1	16	4	22.1	DEL 26 AL 1POR EL LIMITE INTERNACIONAL
1	91	55	32.0	15	44	44.5	

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. 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.

La extracción de agua subterránea en el acuífero La Trinitaria es de 0.34 Mm^3 al año, con la siguiente distribución: 0.22 Mm^3/año para uso público urbano y 0.12 Mm^3/año son utilizados en la agricultura.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Para esta zona se analizó el estudio **"Censo, Geología y Geoquímica de la zona de La Trinitaria, en el estado de Chiapas" del año 1973, elaborado por la empresa Ingeniería y Geotecnia, S.A.** El objetivo del estudio fue tener un conocimiento preliminar de las condiciones geohidrológicas del área de La Trinitaria. La zona de La Trinitaria fue definida como una superficie de 1,350 km^2 donde se localiza un estrecho valle aluvial que tiene un ancho de 2 a 3 km y una longitud de 40 km con una orientación NE-SW. Los límites naturales considerados en el estudio fueron: al noroeste, el anticlinal de La Trinitaria, al suroeste el río Grijalva, al suroeste la carretera que va a Cd. Cuauhtémoc y al noreste el poblado La Mesilla.

De los resultados de las campañas de campo se puede deducir que el aprovechamiento de recursos hidráulicos subterráneos debe considerarse limitado a la utilización de los escurrimientos superficiales, provenientes de manantiales, pues según el censo realizado dentro del área estudiada además de la utilización de estos manantiales sólo existen norias cuya operación es limitada, fundamentalmente para el abastecimiento de necesidades de tipo doméstico y de abrevadero.

Se identificaron 22 manantiales concentrados en su mayoría en la parte central del valle y algunos hacia la parte norte de la zona cubiertos por rellenos aluviales, 19 norias y 2 dolinas.

Se identificaron 6 unidades geohidrológicas señaladas como: aluvión, travertino, sedimentos arcillo-arenosos rocas arcillosas y rocas calcáreas; de los cuales solamente el aluvión, el travertino y las rocas calcáreas muestran interés geohidrológico. Los análisis químicos realizados en este estudio muestran valores de 100 a 500 ppm y altos contenidos de sulfatos, pero dentro de la norma oficial.

Las observaciones realizadas en el año 1973, señalan que durante la época de estiaje la profundidad al nivel freático varía de 1.0 y 6.0 metros, mientras que después de la época de lluvias se encuentra entre los 0.5 y 3 metros.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

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

Específicamente la zona donde se encuentra el acuífero La Trinitaria, se encuentra cubriendo casi totalmente la subprovincia denominada Depresión Central que corresponde a un sinclinorio donde afloran rocas cretácicas y cenozoicas, es una franja de terreno prácticamente plana que se extiende hacia el NW, desde la frontera con Guatemala y termina en la porción central del estado. En el límite con Guatemala desciende gradualmente hasta alcanzar los 400 metros, en el poblado de Chiapa de Corzo que se localiza en el límite oriental del valle.

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 La Trinitaria, se recopilaron en el Servicio Meteorológico Nacional los datos climatológicos de las estaciones que se encuentran en la zona, para el periodo 1960-2000. Particularmente dentro del acuífero La Trinitaria se localizaron dos estaciones climatológicas La

Trinitaria y Las Delicias, identificada en la localidad del mismo nombre. Sin embargo, con el fin de tener una mayor información sobre este tema se incluyó la estación La Angostura, ubicada en las inmediaciones del acuífero La Trinitaria. La temperatura media anual oscila entre los 17 y los 26° C, exhibiendo sus valores más bajos en los meses de enero a marzo, mientras que las temperaturas más altas se registran a mediados del 2° trimestre, siendo mayo el mes más caluroso. La precipitación media anual de la región es superior a los 1,400 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 200 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 climatológicas muestran durante todo el año una continua evaporación con valores anuales acumulados que superan los 1,000 mm y valores mensuales que van de los 100 hasta los 200 mm, que guardan una relación directa con el incremento de la temperatura. Con base en los datos climatológicos y la clasificación de INEGI, se puede concluir que en la zona donde se localiza el acuífero La Trinitaria se presentan los climas: cálido subhúmedo con lluvias en verano, semicálido subhúmedo con lluvias en verano y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con valores de precipitación entre 1,000 y 2,000 mm.

3.3 Hidrografía

La hidrografía del estado y de todo el sureste mexicano es un sistema muy complejo, por sus dimensiones y por sus características topográficas muy accidentadas en las partes altas.

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

Las cuencas del Usumacinta y del Grijalva se originan en las montañas de Los Altos, en Guatemala, muy cerca una de la otra.

A continuación, se describe la zona correspondiente a la cuenca del Grijalva, donde se

encuentra la zona de estudio. El río Grijalva nace en Huehuetenango, Guatemala, para luego fluir entre las montañas Chiapanecas, al llegar a los límites de Tabasco cambia su nombre a Mezcalapa, para después 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. Llama la atención que mientras los grandes ríos se encuentran gobernados por los rasgos estructurales, las ramificaciones y corrientes tributarias tienen un control topográfico.

Además del río Grijalva, dentro de la zona de La Trinitaria destacan los ríos Santa Inés y San Vicente, río Aguacatengo y El arroyo Zanja Seca. El río San Vicente es el más importante de los tres, mediante una presa derivadota localizada cerca de la población de La Mesilla es aprovechado para beneficiar terrenos de cultivo.

De acuerdo con la división territorial en regiones hidrológicas, la Unidad Hidrogeológica La Trinitaria 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 La Trinitaria se encuentra incluida dentro de la subregión Alto Grijalva 30-A.

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

Angostura, zona donde se encuentra el acuífero La Trinitaria.

La cuenca a la que pertenece el Acuífero La Trinitaria 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.

La Unidad Geohidrológica La Trinitaria se caracteriza por presentar al norte y noroeste de su área flancos de estructuras anticlinales y sinclinales, destacando con flancos escarpados; algunas de estas estructuras están cortadas por accidentes estructurales que también afectan parte de la Sierra de Chiapas. Conformando la Depresión Central de Chiapas. El valle de La Trinitaria corresponde a una depresión sinclinal de origen tectónico que se encuentra rellena de sedimentos terciarios y recientes. Está limitada al noreste por un anticlinal y al sureste por rocas que muestran un relieve más suave, ambos límites son de naturaleza calcárea.

Regionalmente se pueden identificar zonas altas conformadas por elevaciones anticlinales que conforman sierras alargadas constituidas por rocas calcáreas y arcillosas, que cubren casi el 40% de la superficie de la unidad hidrogeológica. 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 La Trinitaria se encuentra incluida dentro de la subregión Alto Grijalva 30-A. El Alto Grijalva se subdivide en dos principales subregiones: la conocida como Medio Grijalva que comprende desde la presa La Angostura hasta la presa Malpaso, y Alto Grijalva, que va desde la frontera con Guatemala hasta la cortina de la presa La Angostura, zona donde se encuentra el acuífero La Trinitaria

La cuenca a la que pertenece el Acuífero La Trinitaria 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. Por otra parte, el relieve más suave se encuentra constituido por sedimentos arcillo arenosos y limolitas, principalmente en la zona oriental y sur del valle. La unidad propiamente definida como llanura corresponde a la parte central de la zona de estudio que se presenta como una franja alargada y plana de terreno aluvial, la cual está constituida superficialmente por una cobertura de material arcilloso y limoso, siendo utilizada parcialmente como zona de cultivo.

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).

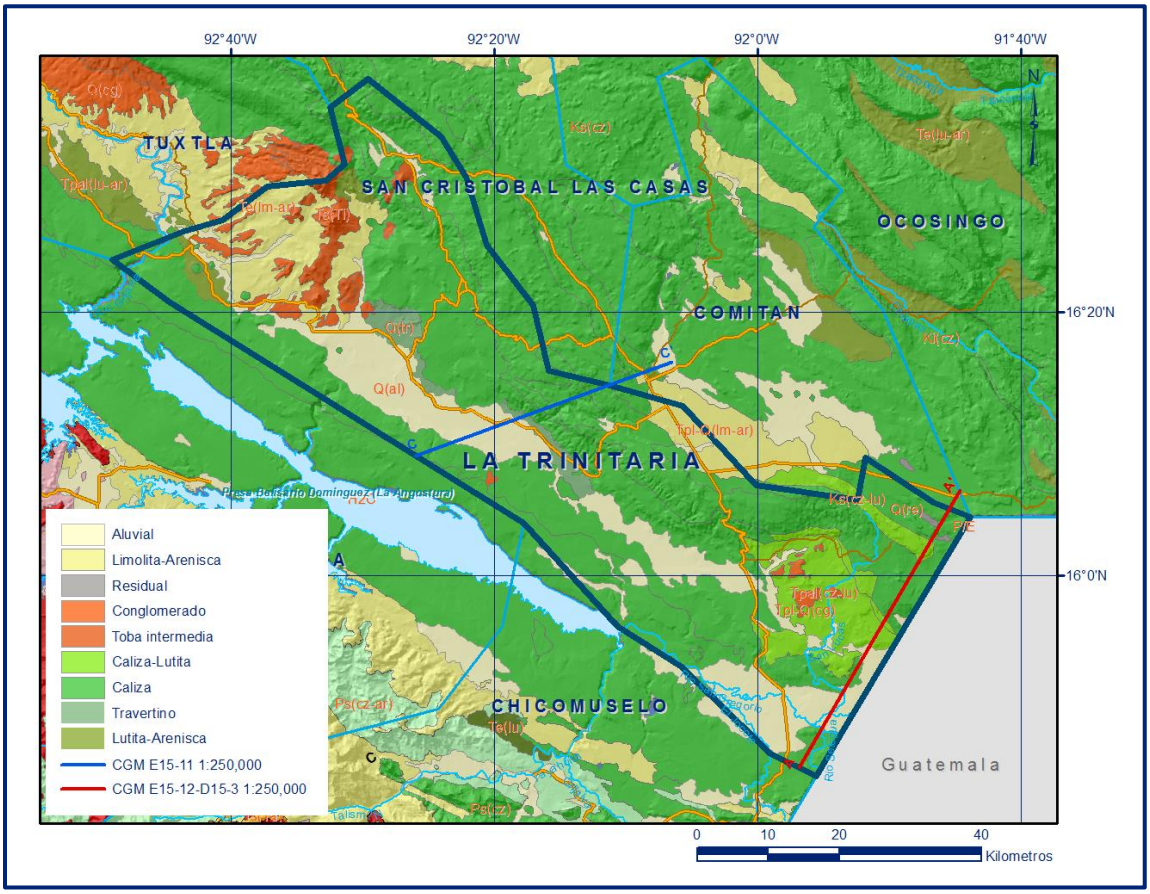

Figura 2. Geología general del acuífero

.

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, se tiene la presencia de rocas Paleozoicas representadas por una serie detrítica perteneciente a las formaciones Paso Hondo, Vainilla y Grupera.

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

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

Sobre la secuencia de rocas mesozoicas se encuentra un paquete de rocas cenozoicas cuyo rango de depósito abarca del Paleoceno (Formación Soyaló) al Plioceno (Formación Tres Puentes). Las rocas paleocénicas son de origen marino y constituyen depósitos rítmicos tipo flysch. Por su parte, las rocas eocénicas son de naturaleza mixta (continental y marina), representan capas rojas en el límite con el oligoceno marino, cuyas rocas están representadas por calizas (Formación Macuspana) y rocas detríticas (Formación La Laja), mismas que afloran principalmente hacia el oriente del estado. Por su parte, las rocas del Mioceno son de origen marino y están conformadas por una serie arcillo-calcárea representada por las formaciones Encanto, Amate Inferior y Superior, Tulijan y Belem, que afloran en la porción septentrional del estado. Finalmente, las rocas del Plioceno-Holoceno están constituidas por depósitos de limos, arenas, arcillas y depósitos piroclásticos derivados de las actividades de los volcanes Chichonal y Tacaná, así como por materiales aluviales y suelos residuales.

4.1 Estratigrafía

A continuación, se describen las principales unidades litológicas reconocidas en la zona La Trinitaria, de la más antigua a la más reciente:

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 sur-sureste de Tuxtla Gutiérrez.

CRETÁCICO INFERIOR

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

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

CRETÁCICO MEDIO

Formación Sierra Madre. Se ha dividido en dos Miembros Cantelhá y Jolpabuchil, restringiendo el miembro Cantelhá al Cretácico Medio y el Jolpahuchil 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.

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

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

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

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

CRETÁCICO SUPERIOR

Brechas Lomas Tristes. Yace en discordancia sobre la Formación Chinameca, está constituida por brechas y conglomerados con fragmentos de caliza del Cretácico Medio, que se hacen más finos a medida que son más jóvenes, presentando dos ciclos de depósito separados por un horizonte de areniscas finas e intercalaciones de lutitas. La estratificación es mala en su base, donde los sedimentos son más gruesos, pero mejoran hacia arriba hasta alcanzar los estratos de areniscas, para tornarse nula al iniciar otro ciclo sedimentario de clastos gruesos. Formación Méndez. Constituida por estratos de margas, lutitas y una alternancia de lutitas y areniscas, esta formación sólo se encuentra en la porción occidental de la sierra, entre el vaso de la presa Netzahualcóyotl y el río Chalchijapa donde afloran lutitas de estratificación delgada que alternan con areniscas de grano fino.

CRETÁCICO SUPERIOR

La base del Cretácico Superior está formada por una brecha de fragmentos de calizas que gradualmente cambian a areniscas de grano fino. Sobre la brecha se depositó una secuencia de margas y areniscas bien estratificadas con capas de 10 a 30 cm de espesor.

Le siguen margas de apariencia laminar, sobre las cuales existe una alternancia rítmica de margas y areniscas, coronadas por un conglomerado formado por fragmentos de calizas. La Formación Méndez, al igual que el resto de las formaciones del Cretácico

Superior, yace en discordancia sobre el Cretácico Medio y en el caso particular del área comprendida entre Malpaso, Río Nanchital y río Playas, reposa directamente sobre el Cretácico Inferior.

Formación Ocozocoautla. Designa al miembro arenoso conglomerático que aflora al W del poblado del mismo nombre. Al oriente de éste, aflora una secuencia sedimentaria terrígena cuya característica principal es la gran cantidad de cambios laterales que presenta.

Descansa sobre las calizas de la Sierra Madre, en su parte inferior se presentan gravillas que subyacen a 190 metros de areniscas calcáreas, bien estratificadas; sobre éstas se presenta un espesor de 140 metros de lutitas arenosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas arenosas en capas de 10 a 20 cm de espesor. Dentro de la serie Ocozocoautla se identificó en su cima un cuerpo de 60 metros de areniscas calcáreas.

Así mismo, cabe señalar que hacia la localidad de Tuxtla Gutiérrez se presenta una interdigitalización de los depósitos de la Formación Angostura con los de la Formación Ocozocoautla.

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

Rocas Cenozoicas

La Era Cenozoica estuvo enmarcada por el Macizo de Chiapas y la Plataforma de Yucatán entre las cuales evolucionó la Cuenca Terciaria del sureste; los tiempos paleocénicos se iniciaron con un ciclo de sedimentación de carácter terrígeno sinorogénico que concluye al término del Oligoceno, por la reactivación de una nueva etapa de tectonismo.

Dichos sedimentos por lo general presentan un contacto de tipo discordante con los depósitos del Cretácico, representados por paquetes de brechas de matriz arenosa que empacan fragmentos de rocas cretácicas.

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.

Durante el Eoceno y por efectos de la manifestación de esfuerzos compresionales acompañados de levantamientos corticales, se generan al sur de la sierra de Chiapas depósitos de sedimentos de ambiente continental conformados por lutitas y areniscas alternando con capas de conglomerado.

En conjunto esta unidad presenta un espesor total de 600 metros, y se conoce como Formación El Bosque. Esta formación hacia la porción central de la Sierra de Chiapas se interdigitaliza con sedimentos de terrígenos y carbonatos depositados en un ambiente de aguas marginales-litorales a los que se le llama Formación Lomut.

A fines del Eoceno e inicios del Oligoceno se manifiesta una etapa de estabilidad tectónica que genera hacia la porción oriental de la Sierra de Chiapas un “hiatus” sedimentario; mientras que hacia la porción central se generan depósitos de carbonatos de ambiente somero con el desarrollo de arrecifes, caracterizados por alternancias de calizas, brechas y lutitas arenosas, que en conjunto se denominan Formación Mompuyil. Para el Mioceno existe una marcada inestabilidad tectónica manifestada por una regresión general de aguas marinas, como efecto del levantamiento total de la Sierra de Chiapas, generando grandes discordancias. Para esta época se genera una cuenca somera en la Sierra de Chiapas, mientras que hacia el sureste se tienen facies palustres, litorales, deltáicas, lagunares y aluviales, en tanto que hacia la cuenca terciaria prosigue el depósito de sedimentos de aguas profundas.

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

4.2 Geología Estructural

En respuesta a los efectos tectónicos acaecidos en el estado de Chiapas se formaron por efecto de diversas deformaciones, provincias de carácter morfotectónico cuyos estilos son marcadamente diferentes. La combinación de dichos efectos del

tectonismo y en especial los que han actuado en la Sierra de Chiapas, dieron origen a la formación de cinco provincias cuyos límites se han fijado con base en trabajos realizados por geólogos de PEMEX.Particularmente la zona donde se localiza el acuífero de La Trinitaria se encuentra en la denominada Provincia de Fallas de Transcurrencia, conocida también como Fosas y Pilares. Comprende las áreas de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de Las Casas, cubriendo parte de la superficie de la Unidad Hidrogeológica La Trinitaria.

En dicha región se distinguen grandes lineamientos hasta de 200 km de longitud que señalan el paso de las fallas que dan lugar a pilares (horts) armados por rocas carbonatadas cretácicas y fosas (grabens) azolvados con terrígenos principalmente terciarios.

En todos los casos las fallas están orientadas WNW-ESE, estructuralmente pertenecen al sistema de fallas de corrimiento horizontal en el que se identifican dos subsistemas. La zona occidental muestra una orientación noroeste a sureste, se extiende desde la presa de Malpaso hasta Ixtapa, está conformada por bloques vasculados y desplazados uno con respecto del otro, lo que dio origen a la formación de fosas tectónicas. Esta provincia alberga a las fosas denominadas Fortuna. Malpaso e Ixtapa, que se encuentran intensamente plegadas por efecto de las cabalgaduras de los pilares. En la Fosa Ixtapa localizada al NW de San Cristóbal de Las Casas, se aprecia que los pilares constituidos por roca caliza de edad cretácica que enmarcan la fosa, comprimieron los sedimentos miocénicos alojados en ella, e incluso se advierte que las fallas tienen una actitud de tipo inverso. Este fenómeno se acentúa al WSW de San Cristóbal de Las Casas al desaparecer completamente la fosa, bajo los bloques de calizas y dolomitas cretácicas que las limitan.

4.3 Geología del subsuelo

El acuífero La Trinitaria se encuentra geológicamente en una depresión sinclinal tectónica angosta, rellena de sedimentos terciarios y recientes que conforman una llanura alargada, limitada al norte por montañas y al sur por lomeríos, ambos de litología calcárea, mientras que en sentido vertical se encuentran limitadas por rocas calizas.

El acuífero en explotación se encuentra alojado en los materiales granulares no consolidados constituidos principalmente por gravas gruesas, arenas gruesas a finas, arcillas, limos y fragmentos de rocas calcáreas, que por sus características litológicas conforman un acuífero de tipo libre con espesor promedio de 8 metros, el cual puede

alcanzar hasta 50 metros. El material sobre el que se desarrolla es producto de la erosión e intemperismo de las rocas existentes, dichos materiales presentan buena permeabilidad; no obstante, la alteración de estas rocas ha generado el desarrollo de materiales limo-arcillosos, que le confieren cierta impermeabilidad.

Por lo anterior, se puede deducir que el acuífero La Trinitaria se aloja básicamente sobre las márgenes de las principales corrientes, donde se han desarrollado terrazas angostas y alargadas constituidas por gravas, arenas y materiales limo-arenosos.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

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

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

El espesor de esta unidad es limitado, con un promedio de 8 metros y un máximo de 50 metros, por lo que se puede deducir que en general esta secuencia no constituye un acuífero de importancia, el cual es destinado básicamente para abastecer las necesidades de uso doméstico de comunidades rurales, por medio de excavaciones poco profundas y medios mecánicos de extracción.

5.2 Parámetros hidráulicos

Datos básicos para cuantificar la disponibilidad de agua subterránea y conocer el comportamiento de un acuífero, son los relativos a las propiedades hidráulicas del mismo, representadas por medio de los coeficientes de permeabilidad, transmisividad y almacenamiento.

No obstante, en el estudio antes señalado, no se realizaron pruebas de bombeo y/o estimaciones de los parámetros hidráulicos; es por esto que resulta muy aventurado señalar los parámetros hidráulicos que tienen actualmente los acuíferos de la región debido a lo escaso de la información existente y a los pocos estudios a detalle que se

han realizado en la zona de La Trinitaria.

No obstante, con base en consideraciones acerca del tipo y granulometría del acuífero, donde predominan los rellenos de material clástico y tomando en cuenta que el acuífero es de tipo libre, se puede considerar que su coeficiente de almacenamiento es equivalente a su rendimiento específico, el cual varía en el rango de 0.15 a 0.3.

5.3 Piezometría

De acuerdo con la información existente, los niveles piezométricos se encuentran entre 1 y 6 metros de profundidad, en la época de estiaje; mientras que después de la época de lluvias se encuentra entre los 0.5 y 3.0 metros de profundidad.

El censo realizado en el año 1974, señala la existencia de 22 manantiales y 19 norias; sin embargo, no se cuantificó el total de su extracción. Es importante señalar que en esta unidad hidrogeológica no existe información piezométrica que permita elaborar los planos de configuración del nivel estático; sin embargo, la escasa información regional recabada señala que los niveles del agua subterránea se han mantenido estables. Por otra parte, la abundancia de agua superficial hace que las fuentes de agua subterránea sean de poco interés en cuanto al monitoreo piezométrico.

5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Aunque se cuenta con escasos datos hidrogeoquímicos, en cuanto a la calidad de los acuíferos subyacentes, se considera que es apta para todo uso, cumpliendo con las normas de calidad establecidas para consumo humano. Sin embargo, no se descarta la posible contaminación antropogénica debido a la profundidad somera a la que se encuentra el nivel freático, la cercanía de los aprovechamientos a los núcleos de población, así como a las corrientes superficiales, las cuales en su mayoría actúan como cuerpos de captación de descargas de aguas residuales.

El tipo o familia de agua identificada, está en relación directa con la litología de la zona, en donde predominan las rocas de tipo calcáreo, 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 de sulfatos, 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 existen extensos afloramientos de rocas fracturadas, y en los flancos montañosos (pie de monte) donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso.

Se supone que la recarga efectiva del acuífero es algo menor que el volumen infiltrado, ya que una parte de ésta 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. 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 básicamente norias, distribuidos 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:

Entradas (E)	**-**	**Salidas (S)**	**=**	**Cambio de almacenamiento**

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas

por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento:

Recarga total	**-**	**Descarga total**	**=**	**Cambio de almacenamiento**

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

RECARGA = DESCARGA

Partiendo de la igualdad de la ecuación anterior, y considerando que del agua que se precipita como resultado de una o varias tormentas, parte de ésta se infiltra hasta alcanzar la superficie freática del acuífero y eventualmente aflora en una corriente superficial como gasto base.

En términos generales, este gasto es aportado por el acuífero durante la época de estiaje al escurrimiento superficial que alimenta dicha corriente. Técnicamente la determinación de su magnitud puede servir de fundamento para la definición del potencial del acuífero, conocida la variación de los gastos con respecto al tiempo en un río.

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

A este respecto en la zona donde se ubica la Unidad Hidrogeológica La Trinitaria, se tiene información disponible de las estaciones hidrométricas siguientes: Angostura, Río Blanco, Arco de Piedra y Santa Isabel.
Con el objetivo de conocer el comportamiento de estas corrientes, se realizaron los hidrogramas de las estaciones, tomando los valores de los caudales mínimos registrados durante el año. Se analizaron los periodos 1950-1969 y 1959-1999; el primero de ellos con datos tomados del Boletín Hidrológico No. 38, de la Secretaría de Recursos

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

Tomando en cuenta la dirección del río Grijalva, la primera estación que se presenta es la estación Arco de Piedra, la cual se encuentra sobre el río Grijalva, a 22 km de la población La Concordia, en el municipio de Venustiano Carranza. Se puede observar que en ésta se aporta un importante volumen proveniente de la Unidad Hidrogeológica Chicomuselo, como lo muestra el hidrógrafo de esta estación apreciando que durante el tiempo de estiaje ingresa al acuífero.

A este gasto se le incorpora el volumen proveniente del río Blanco, el cual está formado por los ríos San Vicente y Salado, corre con una dirección noroeste y confluye al Río Grijalva o Río Grande de Chiapas como localmente se le conoce. Finalmente, al noroeste de la Unidad Hidrogeológica La Trinitaria se ubica la estación Angostura, dentro del acuífero Tuxtla, sobre el río Grijalva a la salida del Cañón "La Angostura", en el municipio de Venustiano Carranza.

En esta estación sale un importante volumen de agua de la zona La Trinitaria, durante el tiempo de estiaje sale del acuífero La Trinitaria. Considerando los datos obtenidos, se observa que el acuífero aporta al flujo base de la corriente un total de equivalente a 157.4 hm^3/año.

6.1 Entradas

Están representadas únicamente por la recarga vertical.

6.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

De esta manera, Rv= **157.4 hm^3/año**.

6.1.2 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= 157.4 hm³/año.

6.2.1 Extracción por bombeo (B)

El valor de la extracción por bombeo, para fines del balance, se considera nula.

6.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

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:

$$Rv = B + Sh \pm \Delta V(S) - Eh$$
$$Rv = 0.0 + 157.4 - 0.0 - 0.0$$
$$Rv = 157.4\ hm^3/año$$

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

$$R = 157.4\ hm^3\ anuales$$

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 **157.4 hm³/año**.

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 **DNC = 0.0 hm³ anuales**.

7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **13,808,391 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.**

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.

$$\mathbf{DMA = R - DNC - VEAS}$$
$$\mathbf{DMA = 157.4 - 0.0 - 13.808391}$$
$$\mathbf{DMA = 143.591609\ hm^3/año.}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **143,591,609 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.