



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO OCOSINGO (0715), 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
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía	10
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos	14
5.3 Comportamiento hidráulico	15
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	15
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1 Entradas.....	17
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	18
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Bombeo (B)	23
7.2.2 Descarga por Manantiales (Dm)	23
8. DISPONIBILIDAD	24
8.1 Recarga total media anual (R)	24
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	25
9. BIBLIOGRAFÍA	26

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 Ocosingo, definido con la clave 0715 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oriental del estado de Chiapas, entre las coordenadas geográficas 16° 04' y 17° 25' de latitud norte, y 90° 39' y 92° 27' de longitud oeste, cubre una superficie aproximada de 15,428 km².

Limita al norte con los acuíferos Palenque, al este con el acuífero Marqués de Comillas y la República de Guatemala, al sur con la República de Guatemala y al oeste con los acuíferos Comitán, San Cristóbal Las Casas y La Sierra, todo ellos pertenecientes al estado de Chiapas (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero.

Geopolíticamente comprende la totalidad de los municipios de Ocosingo, Altamirano y Maravilla de Tenejapa; parcialmente Las Margaritas, La Independencia, La Trinitaria, Chanal y Oxchuc, así como unas pequeñas áreas de los municipios Tenejapa, Huixtán y Chilón.

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 0715 OCOSINGO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	91	50	31.7	16	20	8.8	
2	91	55	45.5	16	26	26.5	
3	91	53	33.6	16	29	16.4	
4	92	4	22.2	16	39	24.3	
5	92	7	39.6	16	37	46.6	
6	92	4	58.8	16	29	15	
7	92	9	29.5	16	28	0.5	
8	92	14	35.5	16	31	8.8	
9	92	15	38.7	16	39	13.9	
10	92	18	49.4	16	41	7.0	
11	92	27	30.1	16	48	17.6	
12	92	14	5.3	16	50	8.6	
13	92	12	50.2	16	52	47.2	
14	92	15	12.6	16	57	23.1	
15	92	14	55.9	17	0	46.0	
16	92	4	29.4	16	57	51.5	
17	92	2	3.0	16	59	15.0	
18	91	48	36.6	17	1	14.4	
19	91	53	2.3	17	5	8.5	
20	91	48	59.2	17	9	6.5	
21	91	41	7.4	17	9	20.7	
22	91	44	10.5	17	13	29.4	
23	91	49	49.8	17	16	38.9	
24	91	50	7.8	17	21	18.9	
25	91	53	37.1	17	23	13.1	
26	91	55	23.3	17	25	5.6	
27	91	48	24.8	17	24	42.6	
28	91	25	58.8	17	15	44.2	DEL 28 AL 29 POR EL LIMITE ESTATAL
29	91	26	21.6	17	15	0.5	DEL 29 AL 30 POR EL LIMITE
30	90	39	21.3	16	35	31.8	DEL 30 AL 31 POR EL LIMITE MUNICIPAL
31	90	57	24.5	16	4	24.7	DEL 31 AL 32 POR EL LIMITE
32	91	43	50.1	16	4	22.1	
1	91	50	31.7	16	20	8.8	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Ocosingo pertenece al Organismo de Cuenca “Frontera Sur. En el territorio completo que cubre el acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

El usuario principal del agua subterránea es el público urbano. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que comprende el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, algunos de cobertura regional. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO-GEOHIDROLÓGICO EN ÁREAS DEL ESTADO DE CHIAPAS (ZONA COMITÁN-TRINITARIA). Elaborado por la empresa Estudios Geológicos y Obras Civiles S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en 1976.

El estudio tuvo como objetivo realizar un reconocimiento hidrogeológico para definir el potencial de los acuíferos localizados en calizas y su factibilidad para ser explotados. Concluye que debido a la presencia de fracturas se tienen buenas posibilidades de almacenar agua en el subsuelo, aunque se presentan alternadas con areniscas y lutitas (del Cretácico Superior). Aunque el agua subterránea tiene un uso incipiente, se explota principalmente mediante norias someras que extraen agua por medios manuales para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

La región se caracteriza por presentar manantiales y lagos. La concentración de sólidos totales disueltos del agua tanto de las norias, manantiales y lagos es baja, lo que refleja, junto con el ión dominante bicarbonato, que es de reciente infiltración.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS ACUÍFEROS OCOSINGO Y MARQUÉS DE COMILLAS, EN EL ESTADO DE CHIAPAS. Elaborado por la empresa ISO Desarrollo e Ingeniería, S.A. DE C.V., para la Comisión Nacional del Agua, en 2010. El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

El acuífero se encuentra ubicado en la Provincia Fisiográfica denominada Tierras Altas de Chiapas y Guatemala (Raisz E., 1964), que a su vez se subdivide en cinco subprovincias: Planicie Costera, Sierra de Chiapas (dentro de la cual se encuentra el acuífero Ocosingo), la Depresión Central, Los Altos (Meseta de Chiapas) y Las Sierras Plegadas.

Morfológicamente la provincia fisiográfica constituye una estrecha planicie costera con un gran número de lagunas litorales, al norte de la cual se levanta una sierra abrupta en la que sobresalen los picos del volcán Tacaná y del volcán Tajumulco, en la frontera misma con Guatemala que forma la Sierra de Chiapas; siguiendo en la misma dirección, encontramos una cuenca alargada formada por el río Grijalva que se ha denominado Depresión Central; al norte el terreno vuelve a levantarse para formar una amplia meseta en donde son notables los profundos cañones como el del Sumidero, labrados en rocas calcáreas; finalmente hacia el límite norte de la provincia se encuentra la zona de Sierras Plegadas cortadas profundamente, que forman montañas interrumpidas por valles muy estrechos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Ocosingo son: Af.- Cálido Húmedo con abundantes lluvias todo el año, cubre la zona norte del sistema topográficamente más baja que hacia la zona serrana; Am.- Cálido Húmedo con abundantes lluvias en verano, el cual está presente en la mayor parte de la Selva Lacandona; A(c)m.- Semicálido Subhúmedo con lluvias en verano, el cual se presenta en una porción de la Selva Lacandona y en donde inicia la meseta central de Chiapas; Cm.- Templado Húmedo con abundantes lluvias en verano, este tipo de clima abarca una pequeña superficie del total del norte del acuífero.

Por último en las porciones norte y noreste de la Meseta Central de Chiapas se presenta el tipo Cw.- Templado Subhúmedo con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 28 estaciones climatológicas operadas por la CONAGUA y CFE que tienen influencia en el área del acuífero: Abasolo, Agua Azul, Chajul, Chanal, Chilil, El Cedro, El Colorado, El Euseba, El Jabalí, El Rosario, Finca Chayabe, Guaquitepec, Ixcán, La Catarata, Las Tazas, Yaquintela, Nueva Esperanza, Ocosingo, Ostional, Oxchuc, San Quintín, Santa Elena.

Así como Altamirano, Paso del Cayuco, Lacantun, Boca del Cerro y Tenosique de Pino Suárez (estas dos últimas ubicada en el estado de Tabasco), cuyo registro comprende un periodo de 30 años.

Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **2,316.8 mm** y **22.6 °C** respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,055.5 mm anuales**.

El régimen pluvial presenta, en términos generales, dos periodos de ocurrencia uno en verano, de junio a septiembre, cuando se registran los valores más altos, y otro de octubre a noviembre, con precipitaciones menos significativas. En el mes de septiembre se presentan los valores más altos de precipitación y en abril se registra la lámina más baja. En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, mayo es el mes más cálido; en tanto que los meses de enero y febrero registran la menor temperatura media.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 30 “Grijalva-Usumacinta”, la más extensa de la entidad ya que cubre aproximadamente un 80% del territorio estatal; en ella se encuentran las cuencas de los ríos más importantes con las corrientes que drenan la superficie de la entidad; llegan directamente al Golfo de México o al Océano Pacífico y tienen como zonas de parteaguas a la Sierra Madre del sur. Hacia el Pacífico, los ríos generalmente no desembocan directamente al mar, sino en lagunas costeras o albuferas. Las principales corrientes son: el Grijalva y el Usumacinta, ambos forman un solo sistema fluvial. El río Usumacinta que recorre una porción de la frontera con Guatemala y gran parte del estado, es el más largo de América Central.

3.4 Geomorfología

La morfología está determinada por dos grandes cadenas montañosas: la Sierra Madre de Chiapas y la Altiplanicie Central, que la recorren con orientación Noroeste-Sureste. La primera de ellas corre casi paralela a la costa del Pacífico con altitudes promedio de 1,000 msnm en los límites con Oaxaca y hasta más de 2,000 msnm en la frontera con Guatemala. La otra cadena montañosa (también conocida como Altos de Chiapas), se desplaza por la parte central del estado. Proviene de Guatemala y desde ahí penetra en territorio mexicano, alcanzando sus máximas altitudes cerca de San Cristóbal de las Casas.

Morfológicamente constituye una extensa planicie costera con un gran número de lagunas litorales, de la cual se levanta una sierra abrupta, el terreno llega a formar amplias mesetas en donde son notables los profundos cañones, labrados en rocas calcáreas; de igual forma se presentan sierras plegadas llamadas localmente Sierra Lacandona constituida por rocas deformadas y cortadas profundamente que forman un pequeño grupo de montañas interrumpidas por valles estrechos.

4. GEOLOGÍA

El área de interés está constituida por formaciones dolomíticas, calcáreas y arcillosas del Cretácico y del Terciario. Las estructuras sirven como parteaguas entre las cuencas de los Ríos Grijalva y Usumacinta al SW y NE respectivamente, hacia donde desciende rápidamente la topografía (Figura 2).

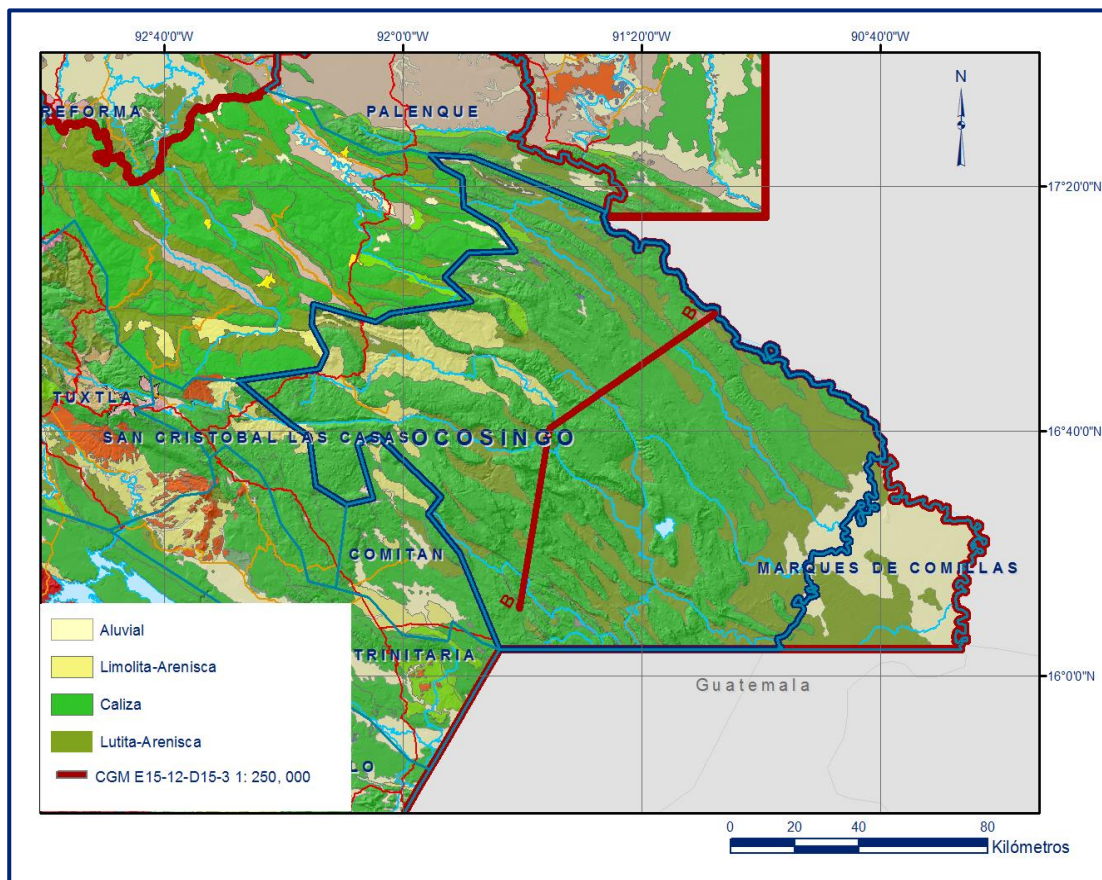


Figura 2. Geología general del acuífero

En la mayor parte de la zona afloran calizas de textura calcilutita de color crema clara y gris claro, que intemperizan en gris claro. Se presenta muy fracturada y en estratos delgados, así como en estratos delgados y gruesos.

La cubierta de suelos y caliche que cubre a los estratos de calizas no se encuentra bien definida. La zona serrana presenta cerros de forma cónica y pendiente fuerte, formados por caliza en blancos gruesos y con un grado menor de fracturamiento, mientras que las lomas suaves están constituidas por estratos delgados muy fracturados, siendo esta la única diferenciación posible entre las rocas calizas del área. Estas rocas pertenecen al Cretácico Medio y Superior. En algunos lugares, afloran una serie de areniscas calcáreas y lutitas que se presentan interestratificadas, en estratos delgados, las cuales pertenecen al Cretácico Superior.

A nivel regional, la sedimentación en la cuenca Paleozoica de Chiapas representada por las formaciones Gruperá y Paso Hondo acontece durante el Pérmico y fueron deformadas en el Pérmico-Triásico durante la Orogenia Apalachiana producida por la colisión de Gondwana con Báltica y Laurentia para conformar el supercontinente Pangea a finales del Paleozoico; simultáneamente se desarrolla un cinturón de plutones graníticos que corresponden al Macizo de Chiapas (Zaldívar R.J. *et al.*, 1984).

Durante el Triásico-Jurásico ocurrió el rompimiento de Pangea, separándose las placas de África, Sudáfrica y Norteamérica, dando como resultado la apertura del Atlántico y el Golfo de México. Los efectos tensionales provocaron la fragmentación del basamento y generaron fosas y pilares que fueron rellenados por capas rojas (Formación Todos Santos).

El hundimiento progresivo dio lugar a la invasión marina (transgresión) lo que permitió el desarrollo de la cuenca Sierra de Chiapas con el depósito de las formaciones San Ricardo y Chinameca durante el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Caballero H.G. *et al.*, 1991); a partir del Altiplano y hasta el Santoniano la transgresión se vuelve más intensa, depositándose una gruesa secuencia de carbonatos de plataforma interna de la Formación Sierra Madre, continuando hasta el Campaniano-Mastrichtiano con el depósito de las formaciones Ocozocuatla y Angostura.

A finales del Cretácico Superior la Orogenia Laramide provocó la exposición de las rocas preexistentes, iniciando su erosión y el depósito de clásticos en la porción occidental de la Sierra de Chiapas, mientras que la parte oriental de la cuenca permaneció estable.

Durante el Paleoceno ocurre el levantamiento y hundimiento de bloques que da lugar al depósito de carbonatos de plataforma de la Formación Tenejapa-Lacandón y clásticos de la Formación Soyaló.

Durante el eoceno se registra un incremento en el levantamiento del Macizo de Chiapas acompañado por una subsidencia lenta y erosión del Macizo que permitió el depósito de terrígenos continentales de la Formación El Bosque; simultáneamente ocurre el depósito de sedimentos arcillo-calcáreos de la Formación Lomut.

En el Oligoceno Inferior los bloques se basculan ocasionando un levantamiento que generó un hiatus en algunas regiones, en el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano existió un periodo de subsidencia que derivó en el depósito de terrígenos y carbonatos de las formaciones Simojovel y Tulijá en la porción norte.

A finales del Mioceno todas las secuencias sedimentarias mencionadas se deformaron como consecuencia del evento Chiapaneco, perteneciente a la Orogenia Cascadiana, producto del movimiento sinistral de las fallas Motagua y Polochic por la interacción de las placas de Norteamérica, Cocos y Caribe, dando lugar a eventos transgresivos que dieron lugar al plegamiento del plano axial de las estructuras laramídicas. En el Mioceno Medio-Superior ocurre el vulcanismo félsico relacionado con el magmatismo de la Sierra Madre del Sur, representado por manifestaciones de toba riolítica. En el Plioceno-Pleistoceno se registran depósitos continentales en cuencas muy locales (Carta Geológico-Minera E15-12 D15-3 “Las Margaritas”, escala 1:250000. SGM, 2006).

4.1 Estratigrafía

La estratigrafía de las unidades que afloran en la superficie cubierta por el acuífero, está conformada por rocas sedimentarias cuyas edades varían del Mesozoico al Reciente; las cuales conforman parte de la Provincia Fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur y en su totalidad a la Provincia Fisiográfica Sierras de Chiapas y Guatemala.

Sin embargo, aunque no afloran todas las unidades de la estratigrafía regional, a continuación, se describen de la más antigua a la más reciente:

Caliza-Lutita (Pérmico Inferior)

Unidad compuesta por una alternancia de calizas y lutitas de la Formación Grupera (290 Ma); debido al límite del sistema acuífero la unidad no aflora en el área.

Caliza-Dolomía (Pérmico Superior)

Esta unidad no aflora en la superficie cubierta por el acuífero; su edad varía entre 250y 270 Ma y es correlacionable con la Formación Paso Hondo que pertenece a la Cuenca Paleozoica de Chiapas.

Limolita-Arenisca (Jurásico Medio)

Esta secuencia está conformada por limolitas-areniscas y conglomerado del Jurásico, correlacionable con la Formación Todos Santos (160 y 180 Ma).

Con su depósito se inicia la sedimentación en la Cuenca Sierra de Chiapas. Al igual que las unidades anteriores, esta secuencia no aflora en la superficie cubierta por el acuífero.

Caliza-Dolomía (Cretácico Inferior)

Esta secuencia es correlacionable con la Formación Sierra Madre del Aptiano-Santoniano. Aflora de forma aislada en todo el acuífero, abarcando el 11% de su superficie total.

Caliza-Lutita (Cretácico Superior)

Secuencia correlacionable con la Formación Ocozocautla-Angostura, de edad Campaniano-Maastrichtiano. Aflora de forma aislada pero bien diferenciada en la porción norte del acuífero, cubriendo una superficie aproximada que equivale al 4% del área total.

Calizas (Terciario-Paleoceno)

Unidad compuesta de calizas de facies de talud y plataforma correlacionables con las formaciones Tenejapa-Lacandón; aflora de forma aislada en toda el área del acuífero, abarcando un 30% de su superficie total.

Lutita-Arenisca (Terciario-Paleoceno)

Depósitos de sedimentos de cuenca constituidos por lutitas, areniscas y calizas, correlacionables con la Formación Soyaló del Paleoceno, las cuales tienen un cambio lateral a facies de talud y plataforma de las formaciones Tenejapa-Lacandón. Esta unidad aflora en las porciones sur y sureste, abarcando una superficie aproximada del 6% del área total del acuífero.

Limolita-Arenisca (Terciario-Eoceno)

Sobre las formaciones antes descritas, se depositaron de manera concordante estos paquetes de limolitas y areniscas con intercalaciones de calizas, correlacionables con la Formación El Bosque.

Esta unidad litológica se encuentra aflorando de forma aislada en el acuífero, abarcando una superficie aproximada del 15%.

Caliza-Arenisca (Terciario-Eoceno)

Depósitos de la Formación Lomut del Eoceno que aparecen de forma concordante a la anterior, se le encuentra aflorando en la porción norte del acuífero, ocupando una superficie aproximada del 10%.

Arenisca-Conglomerado Polimíctico (Neoceno)

Depósitos que ocurren durante el Plioceno hasta el Pleistoceno. En el área del acuífero, la unidad abarca el 1% del total y aflora en la porción este del acuífero.

Conglomerado Oligomíctico (Cuaternario)

Unidad sedimentaria de edad reciente que se encuentra ocupando el 2% del área total del acuífero.

Aluvión (Cuaternario)

Unidad integrada por materiales de granulometría variada: arcillas, limos y arenas, que se encuentran en los lechos de los ríos y arroyos.

Aflora de manera aislada en pequeñas áreas y principalmente al este del acuífero, a lo largo del cauce del río Lacantun, en una superficie que representa el 5% del área total del acuífero.

4.2 Geología estructural

En la región se identifican anticlinales y sinclinales, así como fallas normales y laterales, asociados a diferentes eventos de formación. Los planos axiales de los anticlinales y sinclinales tienen dirección NW-SE con flexiones que indican plegamiento.

Entre estas estructuras se encuentran La Candelaria, Corralchen, Guayaza, Villa las Rosas, Damasco, Leyva Velázquez, Santiago Guelatao, Chocoiljaito, Bonampak, Yaxchilán, Gavilán, Jalisco, Badenia, San Antonio Los Altos, San Isidro, Ocotal, Niños Héroes, La Cañada, San Mateo, Chajul, Xanabcu, Tlaltizapán, Santa María, Marqués de Comillas, Delicias, José María Morelos, La Fortuna, El Jocote y el Jocote I.

Las fallas normales tienen un rumbo NW-SE entre las que se encuentran las siguientes: Puerto Rico, Palestina, San Miguel, Tecoja, Santa Elena, Velasco Suárez, Lacanjá, Sierra Guiral, Jerusalén, Cojolita, Chiapas, Leyva Velázquez, Momón, Belisario Domínguez, Plan de Guadalupe, El Naranjo, La Bélgica, Guadalupe Miramar, La Colorada, La Colorada I, Juncana, Las Delicias, Livingstone y el Jocote.

Las fallas de desplazamiento lateral izquierdo tienen una dirección NE-SW y destacan entre ellas las conocidas con los nombres de La Estrella, Aquiles Serdán, San Juan del Pozo, La Laguna, Sierra Caribe, Sierra Caribe I, Sierra Caribe II; y de rumbo E-W, la Falla Flor de Café.

Las fallas de desplazamiento lateral derecho son Ocotillo, San Javier y Bambú con dirección NE-SW y Huixtán con orientación NW-SE.

4.3 Geología del subsuelo

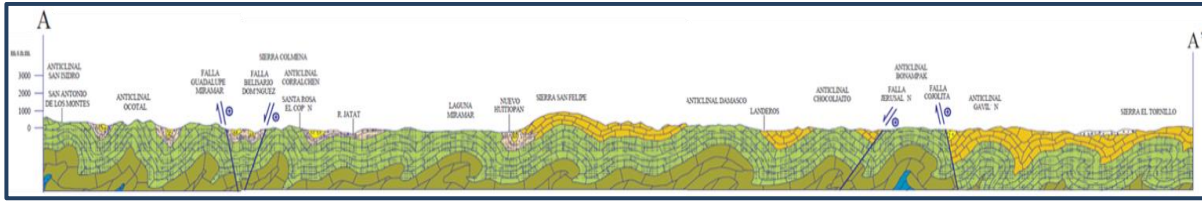
De acuerdo con la información geológica y geofísica así como la geología superficial recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible establecer que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos fluviales de granulometría variable, desde gravas hasta arcillas (Qhoal), que conforman el cauce y la llanura de inundación del río Lacantun y otros ríos y arroyos intermontanos, así como los conglomerados polimícticos, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales desde las regiones topográficamente más altas de la región y en la superficie cubierta por el acuífero. La porción inferior del acuífero está alojada en rocas sedimentarias, principalmente areniscas y lutitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad, las calizas de las formaciones El Bosque, Tejenapa-Lacandón, Ocozocautla-Angostura y Sierra Madre, constituyen horizontes acuíferos que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas.

Este es un acuífero que aún no sido explorado. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias fracturadas, cuando desaparece su fracturamiento a profundidad, y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas.

A mayor profundidad se considera que el basamento geohidrológico regional está constituido por la secuencia de limolitas y areniscas que conforman la Formación Todos Santos.

En la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática que muestra la disposición en el subsuelo de las diferentes unidades litológicas.



Fuente: Carta Geológica-Minera E15-12 D15-3 "Las Margaritas" Esc. 1:250,000 (SGM, 1997)

Figura 3. Sección Geológica Esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y espesor reducido, debido a que están subyacidos por lutitas, así como conglomerados. Este es el acuífero que actualmente se explota en los valles intermontanos y en la planicie de inundación del Río Lacantun, principalmente mediante norias perforadas manualmente en que sólo satisfacen las necesidades del uso doméstico-abrevadero. Las secuencias calcáreas que se encuentran a mayor profundidad representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada completamente.

Debido a la topografía accidentada y a la alternancia de secuencias impermeables y permeables, los escurrimientos fluyen de manera rápida sin permitir su infiltración en las primeras y se infiltran en las unidades permeables. Sólo en la porción baja es posible la acumulación de agua, conformando un acuífero de reducidas dimensiones y de baja capacidad de almacenamiento, que presenta permeabilidad media a baja. El agua infiltrada en las regiones más altas recarga a las secuencias calcáreas y terrígenas que se localizan a mayor profundidad.

Es común la existencia de manantiales que descargan localmente la infiltración del agua de lluvia a través de las fracturas o por el contacto con rocas impermeables. La descarga del acuífero, se realiza en forma natural a través del drenado de las corrientes superficiales y por evapotranspiración en las regiones de niveles freáticos someros.

5.2 Parámetros hidráulicos

Debido a que la gran mayoría de las obras que existen en el acuífero son norias excavadas manualmente, no fue posible la realización de pruebas de bombeo.

Sin embargo, de los resultados de la interpretación de pruebas de bombeo y slug ejecutadas en otros acuíferos vecinos y las pruebas de bombeo realizadas en el acuífero Marqués de Comillas, con las mismas características geológicas, es posible correlacionar los valores y adaptarlos al espesor saturado de cada zona.

De esta manera, los valores de transmisividad varían de **$0.3 \text{ a } 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en tanto que la conductividad hidráulica oscila entre **$2.3 \times 10^{-6} \text{ y } 1.16 \times 10^{-5} \text{ m/s}$** (0.2 y 1.0 m/día), que se asocian a sedimentos de granulometría fina.

5.3 Comportamiento hidráulico

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio. Además, debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 18 muestras de agua subterránea en diferentes aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (15 manantiales y 3 norias), para su análisis fisicoquímico correspondiente (tabla 2).

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, coliformes fecales y totales, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero. Las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

Tabla 2. Resultados de los análisis fisicoquímicos

MUESTRA	SULFATOS	Cl	NO ₃	Ca	Mg	K	Na	DUREZA DE CALCIO	DUREZA TOTAL	STD	BICARB.	C.E.	pH	TEMP.
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µS/cm	U pH	°C
CHA-0715-54	5.00	5.80	1.0280	63.98	28.17	1.000	1.758	158.50	287.00	284.00	293.30	319	7.50	21.3
CHA-0715-55	5.00	5.80	0.6974	69.93	27.34	1.582	1.134	14.40	304.80	326.00	305.80	351	7.66	23.0
CHA-0715-56	5.00	5.80	0.5380	32.84	17.46	1.103	2.175	137.60	185.00	176.00	155.80	234	7.88	19.3
CHA-0715-57	5.00	5.80	1.69.30	51.51	23.00	1.469	1.000	138.10	217.90	2002.00	228.80	279	7.7	20.2
CHA-0715-58	9.40	5.80	1.1238	54.22	21.88	6.150	1.000	165.80	231.00	242.00	201.20	287	7.95	23.1
CHA-0715-59	5.00	5.80	0.8530	47.10	24.92	5.506	1.137	173.10	216.50	244.00	198.60	295	8.22	23.0
CHA-0715-60	5.00	5.80	0.5030	68.64	31.70	1.655	1.484	229.60	272.40	294.00	312.00	303	7.8	24.8
CHA-0715-61	5.00	5.80	0.8912	61.95	27.69	1.918	1.000	199.40	284.20	266.00	268.00	500	7.96	19.7
CHA-0715-62	5.00	5.80	6.9390	40.04	20.89	1.703	1.000	148.60	208.00	224.00	180.20	386	8.08	22.5
CHA-0715-63	< 5,00	< 5,80	0,3280	52,10 0	21,210	< 1,000	< 1,000	82,30	228,40	230,00	201,20	435	7.97	20.2
CHA-0715-64	< 5,00	< 5,80	0,3630	28,16 0	5,404	< 1,000	2,056	80,90	100,70	130,00	83,40	200	8.02	20.0
CHA-0715-65	< 5,00	< 5,80	0,5764	37,72 0	24,120	< 1,000	< 1,000	211,80	220,50	198,00	193,10	388	7.00	21.1
CHA-0715-66	24,90	< 5,80	0,7130	66,17 0	29,280	1,579	1,423	220,50	296,10	328,00	286,60	549	6.88	22.9
CHA-0715-67	< 5,00	< 5,80	0,8500	65,73 0	29,280	1,579	1,423	225,00	357,30	290,00	263,80	509	7.23	22.6
CHA-0715-68	24,50	5,80	1,6580	107,1 00	30,910	6,272	1,336	242,20	335,60	384,00	195,90	764	6.88	21.4
CHA-0715-69	5.00	5.80	1.0980	78,24 0	37,240	1,000	1,000	276,40	274,50	136,00	367,00	607	6.91	21.0
CHA-0715-70	5.00	5.80	2.5670	49,87 0	15,170	1,475	1,000	140,70	227,00	208,00	221,30	671	7.08	20.0
CHA-0715-71	5.00	5.80	1.3930	66,25 0	26,420	1,000	1,000	275,80	311,90	358,00	301,60	487	7.04	19.9
Límites permisibles	400	250	10				200	500	500	1000			6.5-8.5	

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 130 a 384 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022, de STD para el agua destinada al consumo humano. La muestra 57 (manantial) registró 2,000 ppm de STD, que posiblemente se deban a una fuente local de contaminación.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad baja (C1) y contenido medio de sodio intercambiable (S₂). que es apropiada para el riego agrícola sin restricción alguna en el tipo de suelos y de cultivos.

Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó la familia dominante bicarbonatada cálcica, que representa agua de reciente infiltración, de tiempos de residencia muy cortos, que ha circulado a través de rocas carbonatadas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en 2010, se registró un total de 21 aprovechamientos: 17 manantiales, 3 norias y 1 pozo, todos los aprovechamientos se encuentran activos; la mayoría de ellos se destinan a satisfacer las necesidades del uso público urbano y doméstico.

El volumen de extracción estimado es de **0.8 hm³ anuales**, destinados en su totalidad al abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región.

Adicionalmente, a través de manantiales se descarga un caudal de 1,143 lps, que equivalen a un volumen anual de 36.0 hm³, que se destinan para dotación de agua potable y para actividades agrícolas y pecuarias.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1 Entradas

Las entradas al acuífero están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas.

Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por sierras entre las cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos. Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 15,428 km² del acuífero, para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;

V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;

V_{ESC} = Volumen escurrido;

V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (15,428 km²) por la lámina de precipitación media anual (2316.8 mm):

$$V_{LL} = 15,428 \text{ km}^2 (2.3168 \text{ m}) = \mathbf{35,743.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 2,316.8 mm y temperatura de 22.6 °C.

Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, define la siguiente expresión para la estimación de la evapotranspiración real:

$$ETR = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

ETR= Evapotranspiración real, en mm;

P= Precipitación media anual, en mm;

L= $300 + 25T + 0.05T^3$;

T= Temperatura media anual, en °C;

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación $0.31L$. En caso contrario se obtiene una $ETR > P$ y para estos casos, se debe considerar a $ETR = P$. De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de 1241.8 mm anuales.

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	22.6		
P(mm) =	2316.8	P ² =	5367562.24
L =	1442.1588	L ² =	2079822
ETR (mm)	1241.8		

Por lo tanto, el volumen de ETR es: $V_{ETR} = 15,428 \text{ km}^2 (1.2418 \text{ m}) = \mathbf{19,158.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$.

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACIÓN ANUAL DE LA CUENCA} * \text{ÁREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 3 y se determina el uso actual del suelo.

Tabla 3. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Camino	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

En el caso de que en la cuenca, existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (C_e), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15, $C_e = K (P-250) / 2000$;

Si K es mayor que 0.15, $C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$;

Donde:

P= Precipitación anual;

Ce= Coeficiente de escurrimiento anual;

K= Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos: Litosol, Rendzina y Regosol (figura 4).

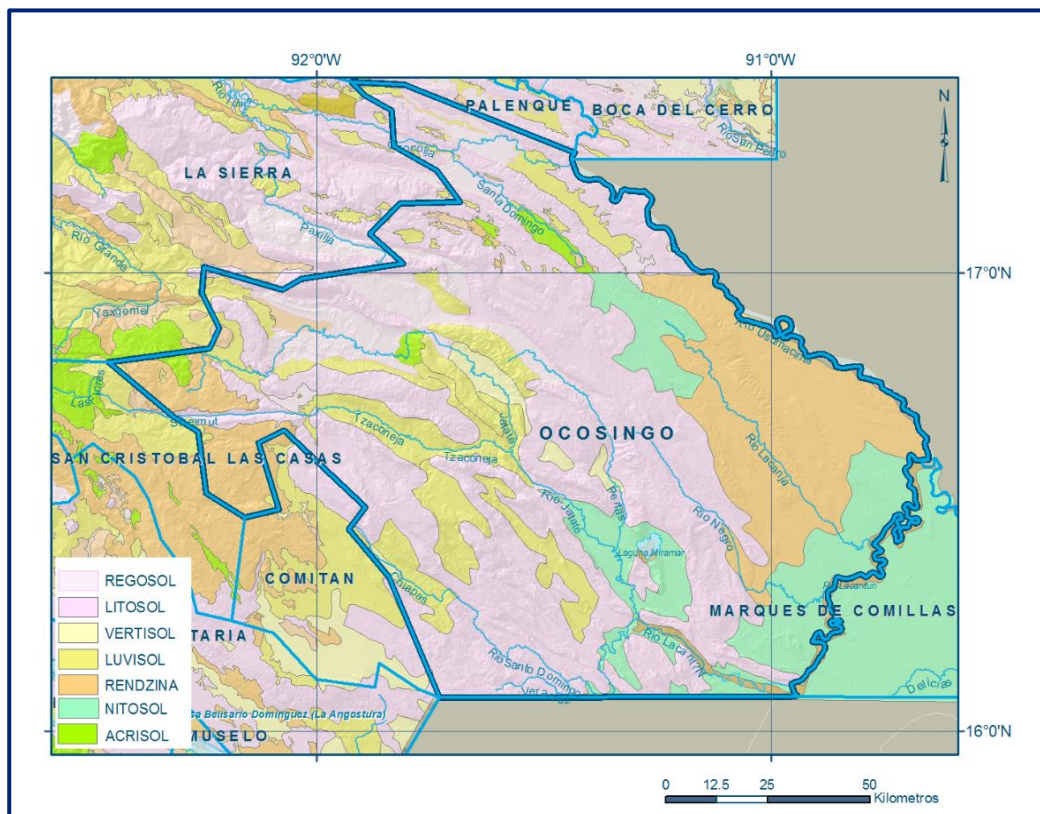


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 54.6 % de la superficie del acuífero está cubierta por selva, en la que el suelo es tipo C, cubierta más del 75%, por lo que $K=0.24$; 24.6 % del acuífero presenta bosque, suelo tipo B, con cobertura mayor del 50 al 75%, por lo que $K=0.26$; el pastizal se presenta en 16.7 % de la superficie del acuífero, suelo tipo C, con cobertura del 50 al 75%, por lo que $K=0.30$; los asentamientos urbanos con 3.0% de la superficie del acuífero, suelo tipo B, por lo que $K=0.29$; finalmente, un 1.1 % del área del acuífero tiene otros usos menores, tipo B, por lo que $K=0.30$.

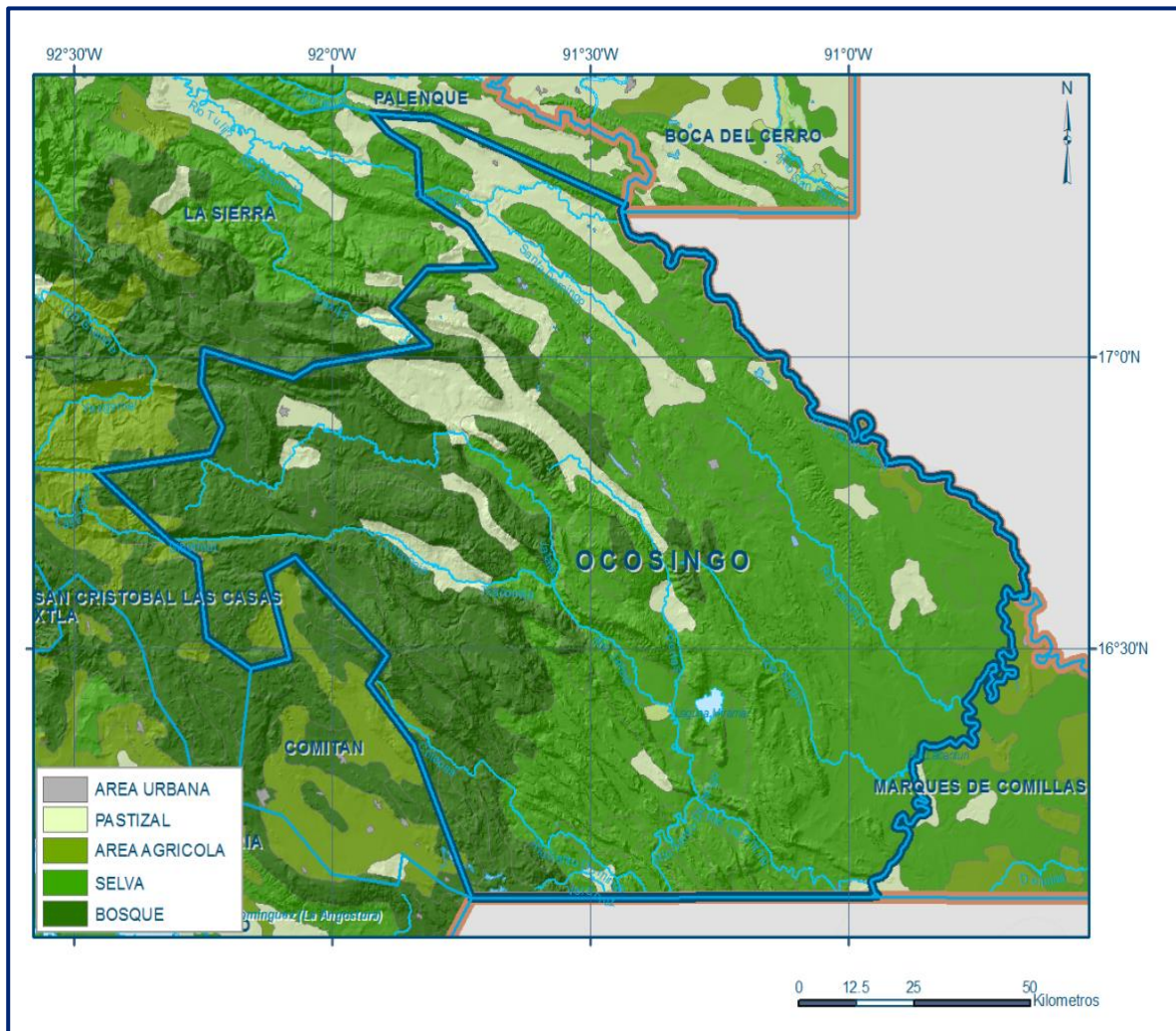


Figura 5. Uso de suelo

$$K \text{ ponderado} = 0.24 (0.546) + 0.26 (0.246) + 0.30 (0.167) + 0.29 (0.03) + 0.30 (0.011) = 0.2571$$

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.2571, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$\mathbf{Ce = 0.3371}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento: $\mathbf{V_{ESC} = 0.3371 (35,743.6 \text{ hm}^3) = 12,049.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)}$$
$$V_{INF} = 35,743.6 - 19,158.5 - 12,049.2$$
$$\mathbf{V_{INF} = 4,535.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 35,743.6 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.127.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 4,535.9 hm³/año en los 15,428 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la $\mathbf{Rv = 4,535.9 \text{ hm}^3/\text{año.}}$

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), a través de manantiales (Dm) y por evapotranspiración de niveles freáticos someros (ETR). No existe información para estimar el flujo base en los ríos.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de $\mathbf{0.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$

7.2.2 Descarga por Manantiales (Dm)

De acuerdo con el censo de aprovechamientos, se identificó la existencia de 17 manantiales, que en conjunto descargan un caudal de 1,143 lps, que representan un volumen de $\mathbf{36.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales.}}$

8. 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, tanto en forma de recarga natural como inducida.

Para este caso, su valor es de **4535.9 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 el caso del acuífero se considera que la descarga natural comprometida es de **4,146.3 hm³ anuales**, de los cuales 36.0 hm³ corresponden a la descarga de los manantiales que son aprovechados para consumo humano y para usos agrícola y pecuario y 4,110.3 hm³ al volumen evapotranspirado en la superficie (3,310 km²) que comprende la Reserva Integral de la Biosfera “Montes Azules”.

Por lo que **DNC = 4146.3 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 de **1,146,340 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 aguas subterráneas (DMA)

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

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

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 4535.9 - 4146.3 - 1.146340 \\ \text{DMA} &= 388.453660 \text{ hm}^3/\text{año}\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **388,453,660 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1976. Levantamiento Geológico-Geohidrológico en áreas del estado de Chiapas (zona Comitán-Trinitaria. Realizado por la empresa Estudios Geológicos y Obras Civiles S.A.

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para Determinar la Disponibilidad de Agua Subterránea de los acuíferos Ocosingo y Marqués de Comillas, en el estado de Chiapas. Realizado por la empresa ISO Desarrollo e Ingeniería, S.A. de C.V.