

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PAPAGAYO (1230), ESTADO DE
GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	5
2	ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	6
3	FISIOGRAFIA.....	7
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	8
3.3	Hidrología superficial	9
3.4	Geomorfología.....	9
4	GEOLOGÍA.....	10
4.1	Estratigrafía.....	12
4.2	Geología del subsuelo	16
5	HIDROGEOLOGIA.....	16
5.1	Tipo de acuífero	16
5.2	Parámetros hidráulicos.....	17
5.3	Piezometría	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	18
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	18
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA	18
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	19
7.1	Entradas	19
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	20
7.2	Salidas.....	25
7.2.1	Bombeo (B).....	25
7.2.2	Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)	25
8	DISPONIBILIDAD	25
8.1	Recarga total (R).....	26
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	26
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	26
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	26
9	BIBLIOGRAFÍA	28

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 San Marcos, definido con la clave 1230 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del Estado de Guerrero, entre los paralelos 16° 41' y 17° 35' de latitud norte y los meridianos 98° 36' y 99° 58' de longitud oeste; abarcando una superficie aproximada de 6,167 km² (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Limita al norte con los acuíferos Chilpancingo, Tepechicotlán y Huitzucó; al este con los acuíferos Tlapa-Huamuxtitlán, Cuajinicuilapa y Marquelia; al sur con los acuíferos Copala, Nexpa, San Marcos y con el Océano Pacífico; al oeste con los acuíferos La Sabana y Coyuca; al noroeste con los acuíferos Chilapa y Tlacotepec, todos pertenecientes al Estado de Guerrero.

Geopolíticamente, la superficie del acuífero cubre en su totalidad el municipio de Juan R. Escudero y parcialmente los municipios Acapulco de Juárez, Acatepec, Atlixac, Ayutla de Los Libres, Coyuca de Benítez, Isidoro Castillo, Chilpancingo de Los Bravo, Chilapa de Álvarez, Leonardo Bravo, Malinaltepec, Mochitlán, Quechultenango, San Marcos, Tecoaapa, Tlacoapa y Zapotitlán Tablas. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	98	56	29.6	17	24	20.8	
2	98	50	52.0	17	25	10.1	
3	98	50	45.8	17	20	47.5	
4	98	48	23.7	17	21	12.1	
5	98	45	42.5	17	19	17.3	
6	98	39	22.6	17	18	19.9	
7	98	36	35.9	17	15	46.9	
8	98	41	8.3	17	10	6.1	
9	98	41	49.5	17	6	58.5	
10	98	44	31.4	17	4	56.5	
11	98	46	22.8	17	3	26.5	
12	98	47	47.2	17	4	38.8	
13	98	52	59.9	17	4	40.9	
14	98	55	58.6	16	59	47.0	
15	98	57	22.8	16	58	56.6	
16	99	1	36.7	17	2	12.2	
17	99	8	39.5	17	6	5.9	
18	99	15	20.4	17	6	47.4	
19	99	16	6.5	17	2	45.2	
20	99	19	50.4	17	3	41.7	
21	99	22	8.7	17	1	33.1	
22	99	20	52.8	16	57	20.0	
23	99	20	49.1	16	54	17.0	
24	99	27	25.6	16	53	24.8	
25	99	29	31.7	16	49	34.7	
26	99	29	50.4	16	41	5.9	DEL 26 AL 27 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
27	99	36	52.0	16	41	2.6	
28	99	38	37.2	16	48	10.9	
29	99	43	31.0	16	52	11.5	
30	99	46	9.6	16	57	26.7	
31	99	45	25.9	17	2	30.2	
32	99	41	59.6	17	3	5.4	
33	99	39	14.9	17	4	56.9	
34	99	41	19.7	17	9	33.7	
35	99	42	58.0	17	10	19.7	
36	99	45	6.9	17	10	41.1	
37	99	48	18.4	17	10	25.3	
38	99	53	23.7	17	9	59.0	
39	99	51	19.3	17	12	48.8	
40	99	51	57.7	17	15	23.3	
41	99	56	28.7	17	23	11.0	
42	99	56	12.7	17	26	1.0	
43	99	58	35.7	17	28	46.8	
44	99	51	40.1	17	35	34.1	
45	99	48	36.1	17	33	44.8	
46	99	44	50.5	17	33	49.9	
47	99	42	40.6	17	33	12.2	
48	99	40	44.1	17	31	43.6	
49	99	39	14.1	17	29	20.4	
50	99	38	6.3	17	26	39.0	
51	99	37	27.5	17	26	18.4	
52	99	34	46.1	17	27	32.4	
53	99	33	42.6	17	28	32.8	
54	99	31	18.5	17	23	43.0	
55	99	27	51.3	17	20	43.0	
56	99	23	17.9	17	22	36.3	
57	99	19	13.0	17	23	33.2	
58	99	17	49.6	17	20	12.1	
59	99	15	50.0	17	17	52.2	
60	99	13	28.8	17	17	36.4	
61	99	13	49.3	17	20	28.9	
62	99	12	20.1	17	20	29.5	
63	99	10	47.3	17	21	50.6	
64	99	10	14.0	17	22	44.6	
65	99	4	43.2	17	25	53.4	
66	99	3	53.0	17	29	10.7	
67	99	1	36.8	17	27	41.0	
68	98	59	38.9	17	29	29.0	
1	98	56	29.6	17	24	20.8	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Papagayo pertenece al Organismo de Cuenca V “Pacífico Sur” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guerrero.

El acuífero se encuentra parcialmente vedado. Las regiones norte, sur y oeste están sujetas a las disposiciones del *“Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de los Municipios de Acapulco, Coyuca de Benítez, Juan R. Escudero, San Marcos, Mochitlán y Chilpancingo; Gro”*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 13 de febrero de 1975. Este decreto se clasifica como tipo II, en el que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

Sólo en pequeñas porciones de los extremos noroccidental, suroriental y en toda la región oriental no rige ningún decreto de veda. La porción no vedada del acuífero Papagayo, clave 1230, está sujeta a las disposiciones del *“ACUERDO General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en dicha porción del acuífero, no se permite la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura o la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, sin contar con concesión o asignación otorgada por la Comisión Nacional del Agua, quien la otorgará conforme a lo establecido por la Ley de Aguas Nacionales, ni se permite el incremento de volúmenes autorizados o registrados previamente por la autoridad, sin la autorización previa de la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El usuario principal del agua subterránea es el público-urbano.

El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca “Costa de Guerrero”, instalado el 29 de marzo de 2000. En su territorio 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 REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que cubre el acuífero no se han realizado estudios geohidrológicos, sólo se cuenta con trabajos geológicos de alcance regional e información geohidrológica de algunos acuíferos de la región Costa Grande de Guerrero, fuera de la zona de estudio. A continuación, se presenta un resumen de los trabajos consultados, en donde se describen de manera breve los objetivos, alcances y/o conclusiones.

RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO EN LA SIERRA MADRE DEL SUR, ENTRE CHILPANCINGO Y ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO. Instituto de Geología de la UNAM, Zoltan de Cserna, 1965. Boletín No. 62. En este estudio se hace una descripción de las condiciones geológicas del área comprendida entre Chilpancingo y Acapulco, ubicados en la porción centro meridional del Estado de Guerrero. Incluye una descripción detallada de las formaciones que integran la estratigrafía.

ACTUALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS EN LOS ACUÍFEROS DE IXTAPA, BAHÍA DE ZIHUATANEJO Y BAHÍA DE ACAPULCO, ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por Consultoría BESTCO en 2003 para la Comisión Nacional del Agua. El documento contiene la descripción de las condiciones climatológicas, hidrológicas y geohidrológicas, así como los parámetros físicos e hidráulicos regionales que rigen el movimiento del agua en el subsuelo.

Con la piezometría recabada en campo y la nivelación de brocales fue posible elaborar las configuraciones del nivel estático y actualizar el conocimiento de la posición de los niveles del agua subterránea en la red piloto, definida previamente, para el monitoreo de la calidad y de los niveles del agua subterránea. Concluye que, aunque no existen evidencias de sobreexplotación debido a la constante renovación del agua alojada en los depósitos aluviales del Río Ixtapa, es necesario tener control de las extracciones y recomienda llevar a cabo un estudio de actualización hidrogeológica que incluya el censo completo de aprovechamientos, pruebas de bombeo, cálculo de la extracción y monitoreo de la calidad del agua.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS ATOYAC Y CHILPANCINGO, 2008. Realizado por GEOPSA, S. A. DE C.V. para la Comisión Nacional del Agua. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar condiciones geohidrológicas del acuífero para determinar su disponibilidad de aguas subterráneas.

Las actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, hidrometría de las extracciones, piezometría, muestreo del agua subterránea, definición del modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, ejecución e interpretación de pruebas de bombeo, realización de sondeos Transitorios Electromagnéticos (TEM´s), nivelación de brocales fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS LA UNIÓN, PETATLÁN Y TECPAN EN EL ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por Consultoría BETSCO en 2009, para la Comisión Nacional del Agua. Los objetivos principales fueron: Elaborar un censo de captaciones de agua subterránea; determinar el volumen de extracción de aguas subterráneas para los diferentes usos, cuantificar la magnitud de los componentes de la recarga, obtener los valores de los parámetros hidráulicos regionales, afinar el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y elaborar el balance de aguas subterráneas.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS EL NARANJITO, COYUCA, CONCHERO, PAPAGAYO, SAN MARCOS, NEXPA, COPALA Y MARQUELIA, EN EL ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por GEOPSA, S.A. de C.V. en el 2011 para la Comisión Nacional del Agua. El objetivo general de este estudio fue definir las condiciones geohidrológicas de los acuíferos y la evolución de los niveles del agua para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones y de los volúmenes de extracción. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3 FISIOGRAFIA

3.1 Provincia fisiográfica

El área del acuífero se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica “Sierra Madre del Sur” (Raisz, 1964), la región norte se ubica en la subprovincia Cordillera Costera del Sur y la sur en la subprovincia “Costas del Sur” (INEGI, 1991).

La región presenta dos tipos de relieve, el primero de ellos formado por elevaciones topográficas de origen ígneo y metamórfico y el segundo está representado por conglomerados y sedimentos que conforman la planicie costera, los cuales están constituidos por arenas de granulometría media a fina, así como por los depósitos aluviales producto de la desintegración de las rocas preexistentes.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación climatológica de Köppen, modificada por Enriqueta García, para las condiciones de la República Mexicana, en el acuífero Papagayo predominan diferentes tipos de climas, en función de su altitud sobre el nivel medio del mar.

En las zonas topográficamente más altas predominan los climas templado húmedo (Cm), semicálido subhúmedo (A(Cw)) y semicálido húmedo (AC(m)), en la región central y la zona costera el clima es cálido subhúmedo A(w), con diferentes variantes de acuerdo con su altitud: al norte y áreas de mayor elevación se presenta la variante de mayor humedad A(w2).

Conforme se desciende topográficamente, se presentan las variantes de humedad intermedias A(w1) en la transición entre selvas medianas y los bosques de encino de la Sierra Madre del Sur; en la porción sur que corresponde a la planicie costera domina la variante del clima más seco A(w0).

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 19 estaciones climatológicas ubicadas dentro y fuera del acuífero: Ahuhuepan, Chaucingo, Coacoyulillo, Coapango, El Ocotito, El Terrero, Huaycatenango, Jaleaca de catalán, Julián Blanco, La Parota, La Sabana, Las Mesas, Llano Grande, Malinaltepec, Nancintla, Paxtepec, San Vicente, Tepezintla y Tlacoapa; cuyo registro comprende el periodo 1951-2010.

Debido a la gran extensión superficial del acuífero y al enorme contraste topográfico, únicamente se consideraron las estaciones que tienen mayor influencia en el acuífero. Con estos datos, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **1,060 mm** y **26.9 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor promedio de **1,725 mm anuales**.

3.3 Hidrología superficial

El acuífero Papagayo se ubica en la Región Hidrológica 20 “Costa Chica de Guerrero”, sobre la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur. Pertenecce a la Subregión Hidrológica “Costa Chica de Guerrero” y a la cuenca denominada “Río Papagayo”, que drena hacia el Océano Pacífico.

Dentro de la superficie cubierta por el acuífero existe una gran cantidad de corrientes superficiales que descienden de las zonas topográficamente más altas y que confluyen al dren principal de la región que es el Río Papagayo. Este río tiene su origen en la Sierra Jalisco, también conocida como Sierra Igualatlaco, que se considera un ramal de la Sierra Madre del Sur, ubicada al suroeste de Chilpancingo.

El Río Papagayo presenta las mismas características de los ríos de la región: recorrido de longitud corta a mediana y curso divagante a través de un paisaje abrupto en el que ha labrado cañadas estrechas y profundas.

A lo largo de su curso recibe los aportes de varios afluentes; en la parte norte se le une el Río Omitlán que proviene de la montaña baja del estado, la confluencia de ambos corrientes es controlada y almacenada en la Presa La Venta, ubicada en el municipio de Juan R. Escudero. Aguas abajo recibe los escurrimientos de otros arroyos, entre los que destacan El Pozuelo, Ojochal, Coquillo, Infiernillo, Grande, San José y La Garrapata, así como los ríos Chacalapa y Apanhuác.

Después de recorrer aproximadamente 200 km en sentido general norte-sur, vierte sus aguas al océano Pacífico en la zona de Playa Encantada, en una región en donde se han formado tres lagunas costeras: Tres Palos (o Papagayo, por su cercanía a la desembocadura del río) Tecomate (o San Marcos) y Chautengo (o Nexpa).

3.4 Geomorfología

En el área que cubre el acuífero se identifican dos geoformas principales: la que integra la zona serrana conformada por rocas ígneas y metamórficas que en la región presentan un relieve abrupto y accidentado, con presencia de drenaje dendrítico de alta densidad; y la planicie o llanura costera donde se ha desarrollado un drenaje de tipo paralelo.

El valle y la planicie están definidos por pequeños abanicos aluviales formados por el material de acarreo del Río Papagayo y arroyos.

La mayor parte de la superficie cubierta por el acuífero, corresponde a la zona serrana de la Sierra Madre del Sur, donde se presentan sierras con altitudes superiores a los 2,500 msnm y cortes verticales en las secuencias de rocas, que originan profundas barrancas en las que se expone la compleja litología de la región. El extremo sur del acuífero, donde se localiza la zona de explotación del agua subterránea, se caracteriza por presentar una morfología de elevaciones irregulares con altitudes que alcanzan 200 msnm, que disminuyen hacia la zona costera. En la desembocadura en el mar, el río forma extensos playones en los que se han acumulado sus depósitos de acarreo. En la superficie cubierta por el acuífero se presentan diferentes unidades geomorfológicas, entre las cuales destacan las sierras y lomeríos, cauces fluviales, estuarios y playas.

4 GEOLOGÍA

La geología del Estado de Guerrero es muy compleja, ya que se encuentra dividida en diferentes terrenos tectonoestratigráficos, con estratigrafías variadas, pertenecientes a cuencas de depósito, unidades corticales y oceánicas de tamaño, litología, deformación y edad variables. La geología regional de la zona se encuentra dominada por rocas metamórficas, ígneas intrusivas y depósitos recientes. La distribución de dichas rocas se muestra en la figura 2.

Además, debido a que esta región está situada en el borde suroccidental de la placa norteamericana, donde en la región de la fosa de Acapulco, se sumerge y sumergieron placas oceánicas, se han formado durante su historia geológica depósitos relacionados con arcos insulares y mares marginales, dando origen a varios tipos de depósitos vulcanosedimentarios y sedimentos marinos y continentales (Terrenos Tectonoestratigráficos Guerrero, Oaxaca, Xolapa y otros. Campa y Coney, 1983). El acuífero Papagayo se ubica en el Terreno Xolapa que es el más grande, pero el menos conocido de los terrenos del sur de México.

Abarca un área de 70 a 100 km de ancho y 600 km de largo, paralelo a la costa del Océano Pacífico. Su historia geológica es compleja e incluye diversos episodios de deformación, intrusión y metamorfismo regional.

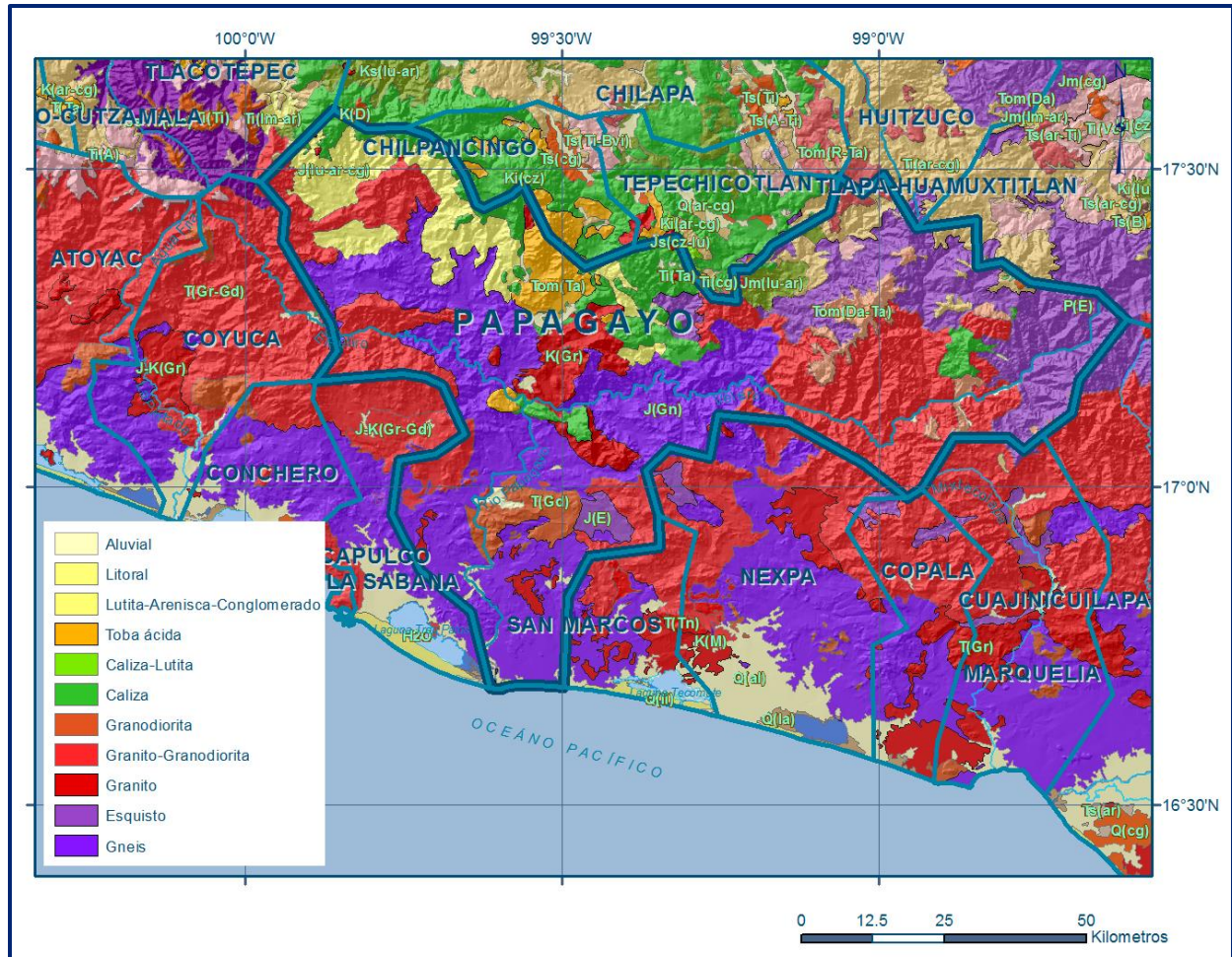


Figura 2. Geología general del acuífero

A nivel regional la geología general del área de estudio comprende a las rocas metamórficas del Paleozoico, las calizas y lutitas del Cretácico Inferior que no afloran en el acuífero, rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno, así como los materiales recientes formados por gravas, arenas, limos y arcillas producto de la alteración y acarreo de rocas preexistentes.

Las rocas de mayor antigüedad corresponden a extensos afloramientos de rocas metamórficas cuya formación tuvo lugar durante el Paleozoico. Posteriormente durante el Cretácico Inferior tuvo lugar una transgresión que ocasionó el depósito de sedimentos calcáreos que dieron origen a calizas de estructura masiva. De acuerdo con Sabanero-Sosa (1990), el Terreno Xolapa representa un terreno metaplutónico que se formó por procesos de desarrollo de corteza cuasicontinental, al lado del margen truncado por el desplazamiento del bloque Chortis al SE, durante el Eoceno, es decir, responde a una acreción constructiva.

Sedlock y colaboradores (1993) señalan que el límite por falla del Terreno Xolapa con el Terreno Guerrero está completamente destruido por las intrusiones granitoides del Cenozoico al este de Zihuatanejo y Petatlán. Los intrusivos de los Terrenos Guerrero y Xolapa, según dataciones isotópicas de Rb-Sr, indican un decremento en edad hacia el sureste, presentándose los intrusivos más antiguos en la zona de Puerto Vallarta, Jalisco con edades radiométricas de 80 ± 3 Ma (Cretácico Superior) y los más jóvenes en Puerto Ángel, Oaxaca con 11.2 ± 0.3 Ma (Mioceno). Corona-Chávez *et al.* (1997), indican que el Terreno Xolapa puede ser dividido en tres grandes unidades tectónicas.

La primera compuesta por una secuencia de basamento metamórfico y una serie de intrusivos que pre-datan un evento de metamorfismo y migmatización de la secuencia.

La segunda unidad está integrada por secuencias de migmatitas que a su vez se puede subdividir en dos unidades compuestas por un complejo migmatítico metasedimentario y un complejo migmatítico metaígneo. Por último, se presenta un batolito granítico-granodiorítico posterior a la migmatización.

4.1 Estratigrafía

La secuencia estratigráfica que aflora en la región comprende un registro cuya edad varía del Paleozoico al Reciente y está conformado por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, depósitos aluviales. En la región están presentes diferentes terrenos tectonoestratigráficos, que se clasifican de acuerdo con sus basamentos. La cubierta sedimentaria incluye rocas volcánicas y sedimentarias probablemente deformadas durante el Jurásico o el Cretácico, calizas del Cretácico Inferior y conglomerados del Cretácico Inferior-Cretácico Superior, así como rocas volcánicas continentales del Paleógeno y Neógeno.

El acuífero Papagayo se localiza en las estribaciones de la Sierra Madre del Sur, la cual se considera la provincia morfo-tectónica más compleja y con mayor diversidad de tipos de rocas en el país. Ferrusquía (1993), la subdivide en cinco Subprovincias de las cuales, la denominada “Planicie Costera del Pacífico” abarca la zona de estudio. Esta subprovincia forma una franja estrecha, tiene menos de 10 km de anchura en promedio, ampliándose a 20 km o más en algunas zonas, como sucede entre los ríos Papagayo y Verde, por ejemplo.

La base del Cretácico está constituida por conglomerados; calizas y otras rocas metasedimentarias que se sobrepone tectónicamente al basamento del Terreno Xolapa. Sobreya a la secuencia anterior un cuerpo de areniscas y calizas del Cretácico Superior.

Del Paleógeno se tiene un conglomerado polimíctico bien consolidado, cubierto discordantemente por andesitas de textura fanerítica y escasamente porfídica, del Eoceno. A partir de esta edad, se considera que los terrenos tectonoestratigráficos comparten una historia en común. En la zona existen intrusivos de composición granítica-granodiorítica que afectaron a la columna precedente.

Esos cuerpos son de textura cristalina. En el granito abunda el cuarzo, los feldespatos, plagioclasa sódica y micas. En la granodiorita disminuye la cantidad de cuarzo, las plagioclasas se vuelven más cálcicas y aparecen los piroxenos. La secuencia estratigráfica se describe a continuación:

Rocas Metamórficas Paleozoicas

Esta unidad es un complejo de rocas metamórficas que pertenecen al Complejo Xolapa, representadas por esquistos, gneis de biotita, mármol y anfibolitas. Este complejo metamórfico consta de dos grandes grupos de rocas cuya unidad más antigua está constituida por paragneises, esquistos pelíticos, esquistos de biotita y cuarcita, cuyos protolitos sedimentarios son interpretados como interestratificaciones de grauwas, rocas pelíticas y carbonatos.

El segundo grupo es el más ampliamente distribuido y su litología consiste principalmente de ortogneises, anfibolitas y migmatitas en facies de anfibolita. En este grupo se desarrolló un metamorfismo de alto grado y una migmatización a gran escala.

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas en toda la porción central del acuífero, conformando una franja orientada en sentido Este-Oeste. Por su constitución litológica y por tratarse de una roca consolidada, esta unidad se considera impermeable, ya que funciona como una barrera natural al flujo del agua subterránea. Sólo cuando presentan alteración y fracturamiento son capaces de transmitir y almacenar agua subterránea.

Rocas metamórficas del Jurásico

Las rocas metamórficas son gneises que afloran ampliamente en toda la porción central y sur del acuífero. La presencia del Jurásico Inferior y del Triásico se basa en las posiciones relativas de ciertos depósitos clásticos (lutitas, areniscas y conglomerados) que afloran en la porción noroccidental del acuífero, y rocas volcánicas de ambiente continental (tobas ácidas y dacitas) sin contenido faunístico.

Calizas, lutitas y areniscas del Cretácico Inferior

Las rocas de esta unidad afloran en las partes topográficamente más altas localizadas en las porciones norte central del acuífero. Consisten de calizas de color gris, de estratificación gruesa, que se encuentran intercaladas con lutitas, las cuales están cubiertas por arcillas, producto de su misma alteración.

También se incluye una secuencia de lutitas y areniscas. De acuerdo con su constitución litológica, su permeabilidad es baja y sólo cuando presentan porosidad secundaria por fracturamiento permite el flujo del agua subterránea. Las rocas de esa unidad pertenecen a las formaciones Acahuizotla, Xochicalco, Morelos, Cuautla y Mezcala.

Rocas ígneas intrusivas

Estas rocas se emplazaron posteriormente a la acreción del Complejo Xolapa, sus principales afloramientos en las porciones norte, suroriental del acuífero y de manera aislada en la región central. Se trata de cuerpos de composición granítico-granodiorítico que afectaron la secuencia del Terreno Xolapa, se considera que su edad corresponde al Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

Este cuerpo granítico forma parte del gran batolito de la costa de Guerrero. Se encuentran muy alteradas y fracturadas en su parte superior, razón por la cual en algunas zonas se han formado suelos como consecuencia del intenso intemperismo y la erosión a la que han sido sujetas.

Salvo la parte alterada y fracturada que cuando alcanza un espesor considerable llega a almacenar cantidades significativas de agua, la parte sana del granito se considera impermeable

A esta misma unidad pertenecen las rocas graníticas y granodioríticas del Cenozoico que afloran en esta porción de la Sierra Madre del Sur, en su extremo norte.

Serie Volcánica Agua de Obispo

La serie de rocas piroclásticas que cubren discordantemente al Grupo Clástico Balsas, a lo largo de la carretera México-Acapulco, entre Chilpancingo y El Ocotito, fue designada con este nombre por Z. Cserna; presenta un espesor de más de 500 m y ligera inclinación al NW. Por su posición estratigráfica, litología general y desarrollo geomorfológico, se considera que tiene una edad correspondiente al Mioceno. En el área del acuífero está constituida por tobas y derrames de composición andesítica, de color de gris o morado claro, interestratificados con estratos de tobas híbridas, que constituyen la mayor parte de la formación.

Depósitos aluviales

Cubren a las rocas metamórficas e ígneas intrusivas ya que son producto de su alteración. Están constituidos por arenas finas-medias, transportadas por la acción de las aguas fluviales y depositados en las depresiones formadas en las rocas graníticas, principalmente por la acción erosiva de las corrientes.

Tienen buena porosidad y alta permeabilidad debido a la naturaleza propia de los materiales que lo conforman; sin embargo, presentan una distribución muy restringida.

Depósitos fluviales

Esta unidad tiene su origen en el transporte de las aguas fluviales, cuyos materiales han sido depositados en las vegas del río, formando playones y terrazas de poca altura, en las que superficialmente abundan las arenas.

Constituida principalmente por gravas gruesas, arenas y limos. Presenta alta permeabilidad que superficialmente facilita la infiltración del agua de lluvia; además, esta unidad es susceptible de inundarse durante las crecientes de los arroyos, razón por la cual puede llegar a funcionar como acuífero, cuando presenta un mayor espesor.

Depósitos Litorales

Esta unidad está conformada por arenas de granulometría media y fina que cubren la zona costera, depositados por la acción del oleaje y del viento. Presentan alta permeabilidad.

4.2 Geología del subsuelo

La geología estructural está influenciada por la complejidad tectónica que presenta la zona. La sobreposición de diferentes dominios tectónicos hace posible el contacto, por falla o en discordancia, de diferentes unidades litoestratigráficas que generalmente funcionan como barreras al flujo subterráneo, que le imprimen un particular rasgo a toda esta región del sur del país.

Como resultado de los procesos geológicos que han conformado la secuencia litológica, a excepción de los depósitos aluviales, está afectada por fallas normales, fallas inversas, fallas de inflexión y algunas otras de tipo rotacional, producto de la tectónica que ha imperado en la región, lo que tiene una influencia directa en el desarrollo del relieve.

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales, aluviales y conglomerados que constituyen el lecho y la llanura de inundación de los arroyos y la planicie costera, cuyo espesor varía desde algunos metros en las estribaciones de la sierra, incrementándose ligeramente en las inmediaciones de los cauces de los ríos y arroyos, hasta alcanzar algunas decenas de metros en la planicie costera. La porción inferior se aloja en un medio fracturado conformado por rocas sedimentarias e ígneas intrusivas que presentan porosidad secundaria por fracturamiento y alteración, respectivamente, cuyo espesor varía de unos cuantos metros hasta alcanzar 50 m en algunas zonas; con un promedio de 30 m.

El espesor del acuífero (granular y fracturado), alcanza 80 m, de acuerdo con las perforaciones y las exploraciones geofísicas realizadas en la región. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las mismas rocas ígneas cuando a profundidad desaparece el fracturamiento y la alteración. El basamento geohidrológico regional está constituido por las rocas metamórficas y metasedimentarias.

5 HIDROGEOLOGIA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido por dos medios: el superior de tipo granular y el inferior fracturado.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semi-consolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades geológicas que afloran en la zona, estos materiales presentan permeabilidad media a alta y se ubican en la proximidad del cauce de los ríos y arroyos, así como en la angosta planicie costera en donde alcanzan su mayor espesor que es de algunas decenas de metros.

El medio fracturado está constituido por rocas ígneas intrusivas, volcánicas y sedimentarias que presentan porosidad secundaria por fracturamiento y alteración. Las rocas metamórficas y metasedimentarias cuando presentan fracturamiento y alteración son capaces de transmitir y almacenar el agua de lluvia.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en el 2011, se realizaron 10 pruebas de bombeo de corta duración, la mayoría de ellas en norias, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 8 a 11 horas, en aprovechamientos que extraen agua, tanto de los materiales granulares como los de las zonas alteradas de las rocas ígneas y metamórficas que afloran en la región.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de **7.45×10^{-4} a $5.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (64.3 a $4579.2 \text{ m}^2/\text{d}$)**. De acuerdo con el espesor saturado la conductividad hidráulica varía de **$1.49 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (1.3 m/d) a $1.06 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (91.6 m/d)**, consistentes con los valores obtenidos en los acuíferos vecinos.

Los valores más altos corresponden a los depósitos granulares de granulometría gruesa y los más bajos se asocian a la parte alterada, con presencia de arcillas, de las rocas graníticas y metamórficas. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor el coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en el año 2011.

5.4 Comportamiento hidráulico

Debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda su superficie, en los que se extrae el agua subterránea de los niveles freáticos someros. La gran mayoría de los aprovechamientos subterráneos existentes son norias que se encuentran dispersas en pequeños valles intermontano.

El número de aprovechamientos subterráneos en el área que cubre el acuífero es muy bajo y el volumen de extracción es incipiente; por estas razones 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.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el 2011, se tomaron 20 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyen parámetros fisicoquímicos, temperatura, iones principales y menores, conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), nitratos, dureza, sólidos totales disueltos (STD) y dureza total.

De los resultados de los análisis se determina que las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la modificación a la 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.

La concentración de sólidos totales disueltos varía de 90 a 405 mg/lit., sólo la muestra 10 presenta concentración de 1100 mg/l de STD, posiblemente relacionada con una fuente puntual de contaminación. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion predominante, la familia dominante es la sódica-sulfatada.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, llevado a cabo como parte del estudio realizado en el 2011, se registraron un total de 127 aprovechamientos del agua subterránea, todos ellos activos: 22 pozos (la mayoría de ellos “puyones” de PVC generalmente de 2 a 4 pulgadas de diámetro) y 105 norias.

El volumen total de extracción asciende a 77.7 hm³/año, de los cuales 75.8 hm³ (97.5%) se destinan al uso público-urbano para abastecimiento de la ciudad de Acapulco, 1.6 hm³ (2.1%) para uso doméstico y 0.3 hm³ (0.4%) para uso agrícola.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

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 están 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

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

Debido a la gran extensión superficial del acuífero y a sus condiciones orográficas, sólo existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda su superficie, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie total del acuífero que es de **6,167 km²** 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:

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

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 (6167 km²) por la lámina de precipitación media anual (1294 mm):

$$V_{LL} = 6167 \text{ km}^2 (1060 \text{ m}) = \mathbf{6537.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 1,060 mm y temperatura de 26.9 °C. Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

COUTAGNE		$ETR = P - \chi P^2$	
Donde:			
ETR= Evapotranspiración	m/año	P (m) =	1.060
P = precipitación en	m/año	t (°C) =	26.9
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$		ETR (m/año) =	0.814
t = temperatura en	°C		

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre $1/8X$ y $1/2X$, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que $1/8X$ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que $1/2X$ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por $ETR = 0.20 + 0.035 T$. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **814 mm** anuales.

El volumen evapotranspirado está dado por el producto del área y la lámina de evapotranspiración, por lo que el volumen de descarga por efecto de la evapotranspiración será de:

$$V_{ETR} = 6,167 \text{ km}^2 (0.814\text{m}) = \mathbf{5019.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

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:

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	=	PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA	AREA DE LA CUENCA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO
---	---	--	----------------------	---------------------------------

El coeficiente de escurrimiento (C_e) 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 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, existan 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 (Ce), 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,

$$Ce = K (P-250) / 2000;$$

Si K es mayor que 0.15,

$$Ce = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$$

Donde:

P= Precipitación anual;

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

Tabla 2. 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
Caminos	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		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos regosol, litosol (figura 3).

En cuanto al uso de suelo (figura 4), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, el 89 % de la superficie del acuífero está cubierta por bosque y selva, en la que el suelo es tipo C, cubierta más del 75%, por lo que $K=0.26$; 10.0 % del acuífero presenta zonas agrícolas, suelo tipo C, y pastizal en suelo tipo C con cobertura entre 50 y 75%, por lo que $K=0.30$; la superficie restante (1%) corresponde a centros de población asentadas en suelo tipo C, por lo que $K = 0.32$.

$$K_{\text{ponderado}} = 0.26 (0.89) + 0.30 (0.10) + 0.32 (0.01) = 0.2646$$

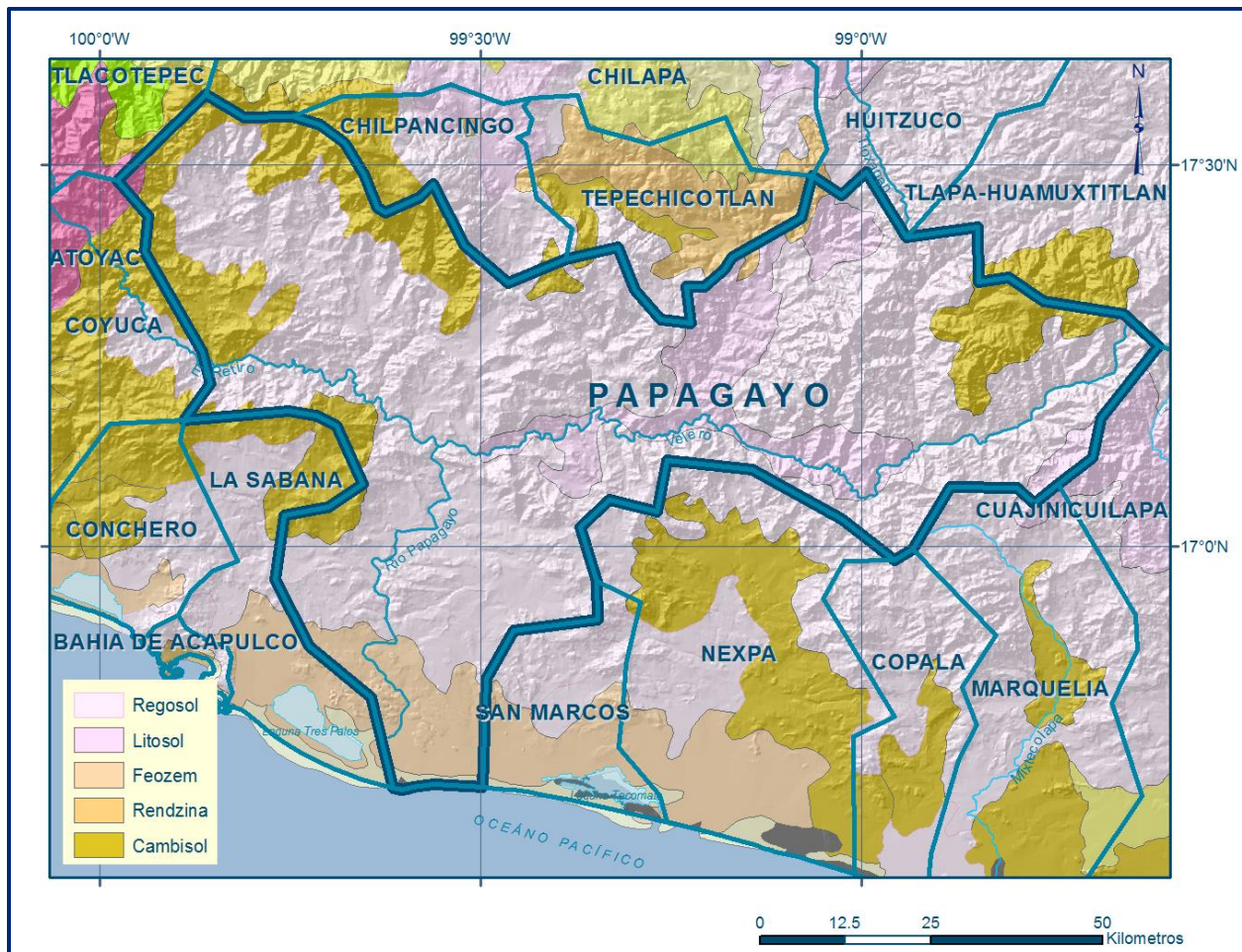


Figura 3. Tipo de suelo

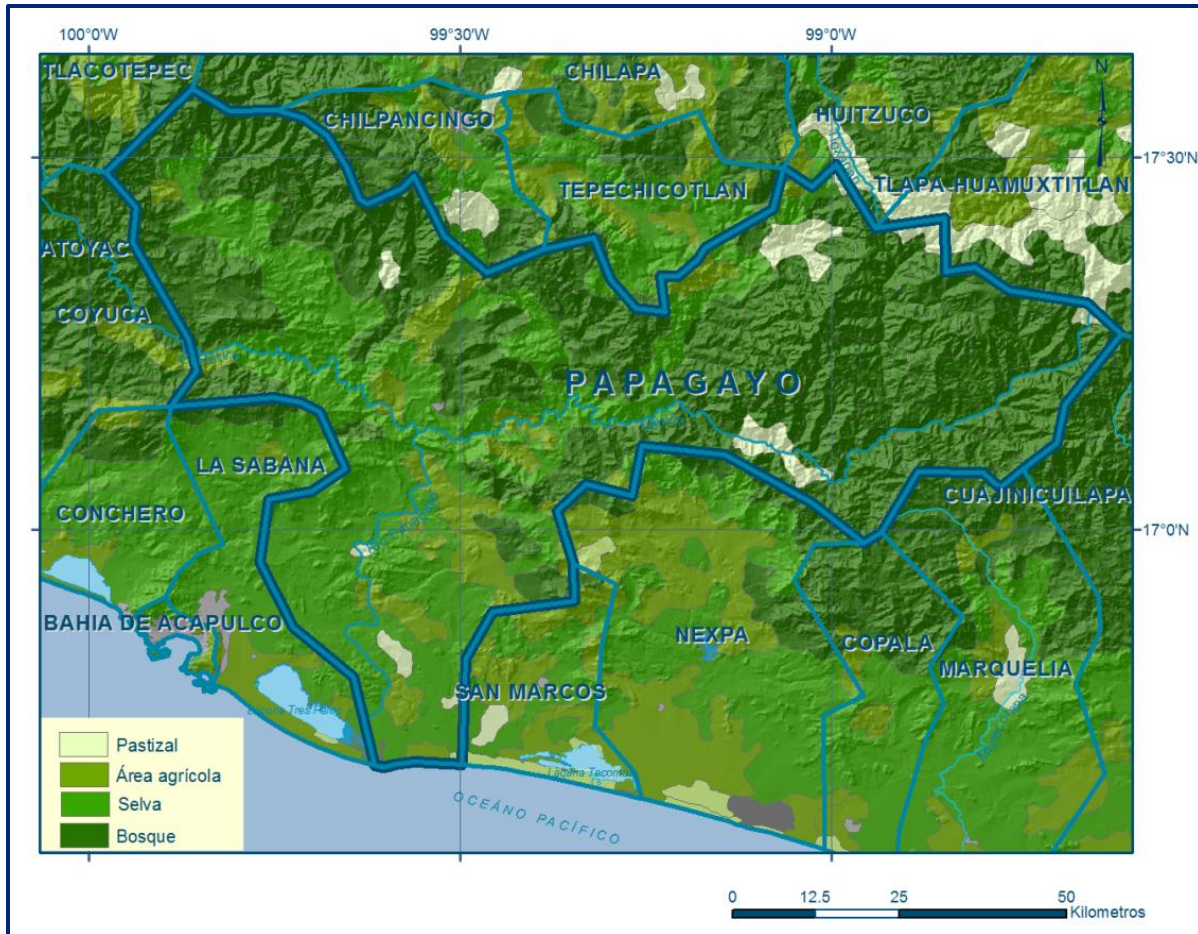


Figura 4. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.2646, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$

$$\mathbf{C_e = 0.1836}$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.1836 + (6537.0 \text{ hm}^3) = 1200.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}}$$

$$\mathbf{V_{INF} = 6537.0 - 5019.9 - 1200.2}$$

$$\mathbf{V_{INF} = 316.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado , entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 6537.0 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.05. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 316.9 hm³/año en los 6167 km² de área del acuífero. Por lo que la **Rv = 316.9 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre por bombeo (B) y las salidas subterráneas hacia el mar (Sh). No se cuenta con información de las estaciones hidrométricas para calcular el flujo base.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría el volumen de extracción por bombeo es de **77.7 hm³/año**.

7.2.2 Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron estimadas a partir de los valores de elevación obtenidos en 2011 en la zona costera. De esta manera, considerando una zona costera de 1,1500 m, un gradiente hidráulico promedio 0.0042 y un valor medio de transmisividad de $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, se obtiene: $Sh = (1,1500 \text{ m}) (0.0042) (0.002 \text{ m}^2/\text{s}) = 0.0966 \text{ m}^3/\text{s} = 3.0 \text{ hm}^3/\text{anuales}$. Por lo tanto, **Sh = 3.0 hm³/anuales**.

8 DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, que, en la fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la siguiente expresión:

$$\text{DMA} = R - \text{DNC} - \text{VEAS} \quad (3)$$

Donde:

DMA= Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica.

R= Recarga total media anual

DNC= Descarga natural comprometida

VEAS=Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total (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. En este caso, su valor es de **316.9 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 están comprometidos 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 particular, se considera un volumen de descarga natural comprometida corresponde a la salida por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina.

Por lo que, **DNC = 3.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **87,451,438 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, de acuerdo con la expresión 3, 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 316.9 - 3.0 - 87.451438 \\ \text{DMA} &= 226.448562 \text{ hm}^3/\text{año}\end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **226,448,562 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2009. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos Atoyac y Chilpancingo. Elaborado por GEOPSA, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2009. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos La Unión, Petatlán y Tecpan en el Estado de Guerrero. Elaborado por la empresa Consultoría BESTCO, S.A. de C.V.