



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO COYUQUILLA (1220) ESTADO DE
GUERRERO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido.

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
	1.1 Localización.....	2
	1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
2	ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD.....	5
3	FISIOGRAFIA.....	6
	3.1 Provincia fisiográfica.....	6
	3.2 Clima.....	7
	3.3 Hidrografía.....	7
	3.4 Geomorfología.....	7
4	GEOLOGIA.....	8
	4.1 Estratigrafía.....	9
	4.2 Geología estructural.....	14
	4.3 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.....	17
	5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	17
	5.4.2 Elevación del nivel estático.....	18
	5.4.3 Evolución del nivel estático.....	20
	5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	21
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	21
	7.1 Entradas.....	21
	7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	22
	7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	22
	7.2 Salidas.....	23
	7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	24
	7.2.2 Extracción por bombeo (B).....	25
	7.2.3 Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh).....	25
	7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	26
8	DISPONIBILIDAD.....	27
	8.1 Recarga total (R).....	27
	8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM).....	27
	8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
	8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9	BIBLIOGRAFÍA.....	30

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 Coyuquilla, definido con la clave 1220 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción occidental del Estado de Guerrero, entre las coordenadas 17° 46' 23" y 17° 15' 14" de latitud norte y 101° 10'52.2" y 101° 53' 30.3" de longitud oeste, abarcando una superficie de 788 km² (Figura 1). Limita al norte con el acuífero Paso de Arenas al poniente con Petatlán al oriente con San Luis y al sur con el océano pacífico, todos ellos pertenecientes al estado de Guerrero.

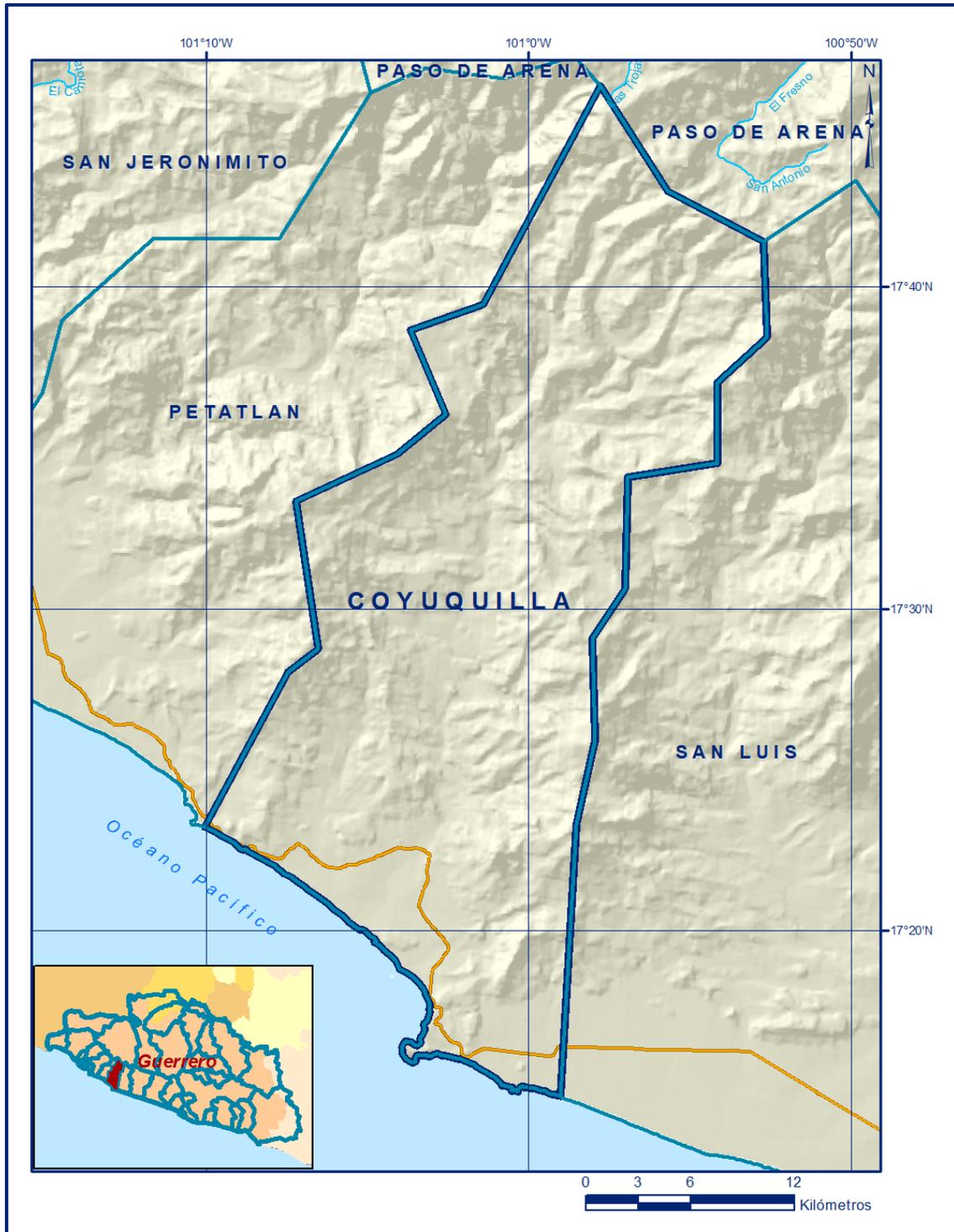


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 1220 COYUQUILLA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	10	3.5	17	23	13.7	
2	101	7	27.1	17	28	2.5	
3	101	6	32.3	17	28	45.7	
4	101	7	13.4	17	33	21.9	
5	101	4	5.0	17	34	48.0	
6	101	2	33.9	17	36	2.8	
7	101	3	40.0	17	38	38.8	
8	101	1	25.2	17	39	27.5	
9	100	57	46.8	17	46	14.2	
10	100	55	40.7	17	42	58.4	
11	100	52	42.9	17	41	24.4	
12	100	52	37.0	17	38	26.8	
13	100	54	9.0	17	37	2.4	
14	100	54	9.0	17	34	32.2	
15	100	56	56.1	17	34	5.9	
16	100	56	59.9	17	30	37.5	
17	100	58	1.8	17	29	5.5	
18	100	57	56.7	17	25	55.7	
19	100	58	30.9	17	23	19.4	
20	100	59	0.7	17	14	51.8	DEL 20 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	101	10	3.5	17	23	13.7	

Geopolíticamente, el acuífero se localiza dentro de los municipios de Petatlán y Tecpan de Galeana y una pequeña porción de su extremo norte en el municipio de Coyuca de Catalán.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece a la región del Organismo de Cuenca Pacífico Sur y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Guerrero. Su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de José Azueta, Petatlán, Tecpan de Galeana, Atoyac de Álvarez y Benito Juárez, Gro.”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de marzo de 1978. Este decreto es tipo II que sólo permite extracciones para uso doméstico.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. Los únicos estudios que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE CINCO ZONAS DE GUERRERO. Elaborado por la empresa GEORAMA, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), en 1978. El objetivo principal del estudio fue el de determinar la existencia de acuíferos económicamente explotables en la zona de Iguala, Chilpancingo, Zacatula, Zihuatanejo y San Luis de la Loma, incluyendo la investigación de la calidad del agua, para determinar su factibilidad de uso en el riego y el doméstico, necesarios en la región.

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. 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 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 LA UNIÓN, PETATLAN Y TECPAN EN EL ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por Consultoría BETSCO en 2009. 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 físicos e hidráulicos regionales, afinar el modelo conceptual de funcionamiento del acuífero y plantear el balance de aguas subterráneas para determinar su disponibilidad.

ESTUDIO DE EVALUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS SAN LUIS Y COYUQUILLA, EN EL ESTADO DE GUERRERO. Realizado por la empresa GEOPSA S.A. de C.V en el 2010 El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos, obtener información necesaria para calcular su recarga, determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona.

Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo sondeos geofísicos 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 estado de Guerrero a su vez está dividido en 3 subprovincias (INEGI, 1991): “Cuenca Balsas Mexcala”, “Taludes Meridionales” y “Planicie Costera del Pacífico”. El acuífero San Luis, se encuentra dentro de las subprovincias “Taludes Meridionales” y “Planicie Costera”, cubriendo una mayor superficie de esta última.

El área se encuentra comprendida en dos subprovincias de la provincia fisiográfica “Sierra Madre del Sur” (Raisz, 1964); la porción norte, en la Cordillera Costera del Sur, que constituye la franja central de la provincia y el extremo sur del área se encuentra en la subprovincia “Costas del Sur”, que se extiende a lo largo de la línea de costa.

La zona presenta dos tipos de relieves, el primero de ellos formado por elevaciones topográficas de origen ígneo y el segundo está representado por los sedimentos que conforman la planicie costera, los cuales están formados por arena 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 los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García, en la zona el clima varía en relación a su relieve, presentándose dos tipos en la región montañosa: El primero (BS1(h')w) semiárido cálido, el segundo (A)C(w₁) Semicálido subhúmedo del grupo C. En la Planicie Costera se definen dos tipos de clima (Aw_o) cálido subhúmedo, y (Aw_i) cálido subhúmedo.

Dentro de la zona de estudio y en sus inmediaciones se localizan cuatro estaciones climatológicas con registro histórico: Tecpan con datos de 1982 a 2006; Laguna de Nuxco de 1981 a 2006; Gloria Escondida de 1965 a 2005 y San Luis – San Pedro de 1953 a 1993. De acuerdo con el análisis de sus datos, se determina que los valores promedio anuales de temperatura, precipitación y evaporación potencial son de **28.5 °C, 1,095 mm y 1,019 mm**, respectivamente.

3.3 Hidrografía

El Acuífero Coyoquilla se ubica en la Región Hidrológica 19 “Costa Grande de Guerrero”, sobre la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur. El acuífero pertenece a la cuenca denominada “Río Coyoquilla y Otros”, que drena hacia el Océano Pacífico. Los principales escurrimientos en la zona de estudio son los ríos Coyoquilla y La Ciénega, así como los arroyos El Seco, La Mona y Hondo. En la zona costera se existe la laguna El Tular. No existe infraestructura hidráulica para el aprovechamiento de las corrientes superficiales

3.4 Geomorfología

En el área que cubre el acuífero se identifican dos características morfológicas principales que permiten definir dos tipos de relieves, con base a la expresión superficial y morfología; la primera de ellas corresponde a zonas constituidas por elevaciones topográficas que superan los 2,800 msnm, principalmente asociadas a la presencia de rocas ígneas y metamórficas que presentan un relieve abrupto y sumamente accidentado, con presencia de drenaje dendrítico.

La segunda zona corresponde a la planicie costera caracterizada por la presencia de sedimentos granulares constituidos por arena de granulometría media a fina, así como por los depósitos aluviales producto de la desintegración de las rocas preexistentes.

Hacia la parte central del acuífero se presenta un pequeño valle con dimensiones de 10 kilómetros de largo por 6 de ancho, abarcando desde la comunidad de Coyoquilla, en el norte, hasta las inmediaciones del poblado Cayacalito, al poniente de la laguna el Tular. Los afloramientos de todas estas rocas se prolongan hasta la costa, en donde la acción de la erosión y el oleaje dan lugar a la formación de acantilados y depresiones que forman pequeños valles y playas.

4 GEOLOGÍA

En la entidad de Guerrero la geología es muy compleja y está dividida en diferentes terrenos tectonoestratigráficos, con estratigrafías variadas, pertenecientes a cuencas de depósito, unidades corticales y oceánicas de tamaño, litología, deformación y edad variables.

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 Guerrero, Oaxaca, Xolapa y otros). 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.

A nivel regional la geología general del área comprende a las rocas metamórficas del Paleozoico, las rocas volcánicas del Paleógeno y Neógeno, las calizas y lutitas del Cretácico Inferior, 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, lo que motivó el depósito de sedimentos calcáreos que dieron origen a calizas de estructura masiva.

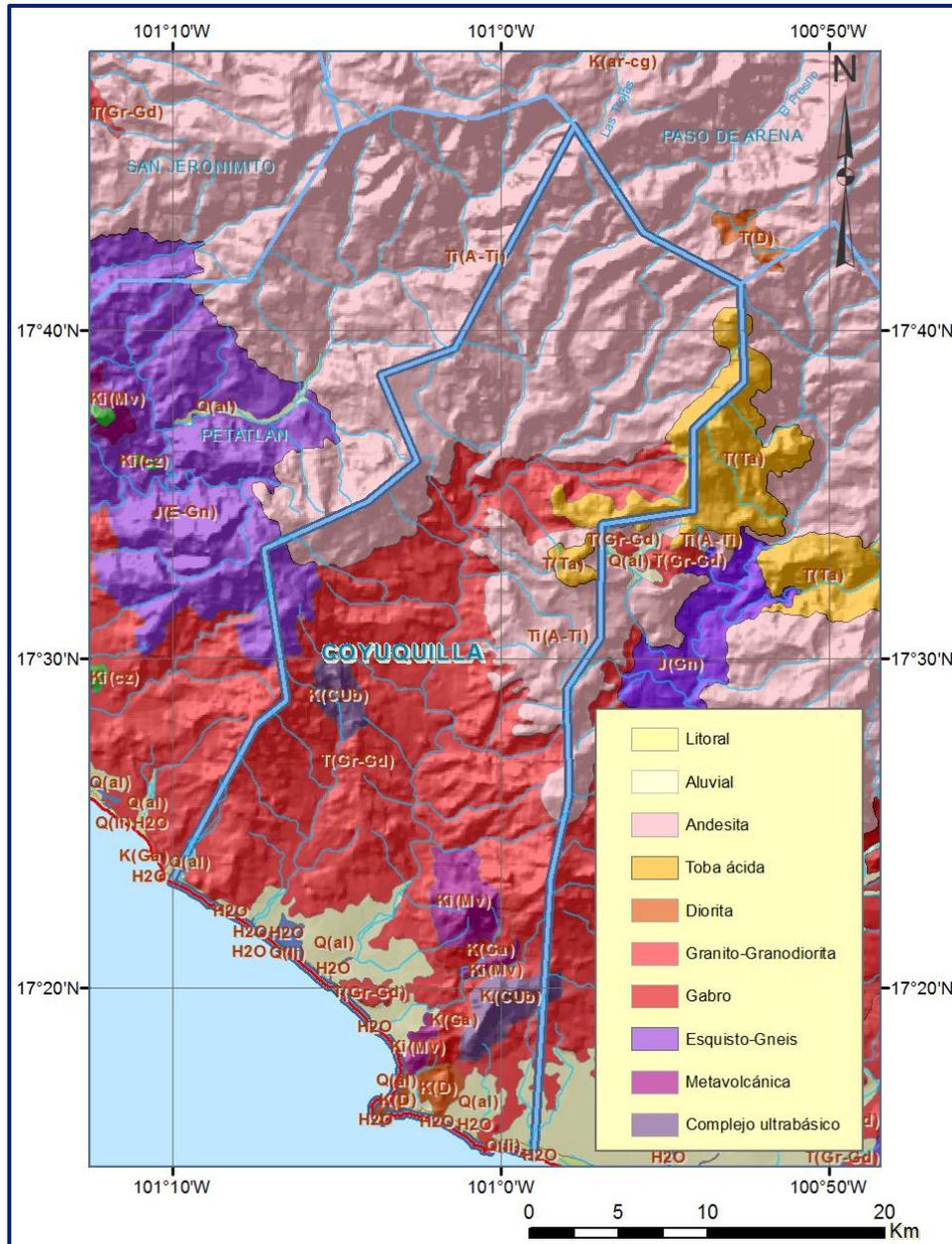


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Paleozoico al Reciente y está conformado por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. En la región se presentan 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-Neógeno.

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

En el Paleógeno se tiene un conglomerado polimíctico bien consolidado (que se encuentra cubierto discordantemente por andesitas), cuya textura es fanerítica y escasamente porfídica, constituida por plagioclasas, escasos piroxenos y ferromagnesianos, se atribuye una edad Eoceno. A partir de esta edad, se considera que los terrenos tectonoestratigráficos comparten una historia en común.

La zona presenta extensos 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 representado por pizarras y filitas que constituye el basamento de la región. Por su constitución litológica y por tratarse de una roca consolidada se considera impermeable, ya que funciona como una barrera natural para el flujo del agua subterránea.

Está representado también por la Formación Lagunillas del Aptiano que se sobrepone tectónicamente al basamento del Terreno Xolapa y consiste en una secuencia tipo Flysch depositada en una cuenca ante-arco, que en conjunto está constituida por metalutitas, metareniscas, metatobas, filitas, pizarras y esquistos, dentro de las cuales se encuentran alojadas rocas ultramáficas.

Calizas y lutitas del Cretácico Inferior (Ki). - Las rocas de esta unidad afloran en las estribaciones de la sierra, y consiste 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.

Esta unidad se encuentra aflorando principalmente en la porción sur del acuífero. De acuerdo con su constitución litológica, solo cuando se encuentra fracturada adquiere porosidad secundaria para permitir el flujo del agua subterránea.

Granitos. Estas rocas se encuentran aflorando al norte de la zona de estudio. Se tratan de cuerpos de composición granítico-granodiorítico que afectaron la secuencia del Terreno Xolapa. Este cuerpo granítico forma parte del gran batolito de la costa de Guerrero. Se encuentran muy alterados y fracturados en su parte superior, razón por la cual en algunas zonas ya se han formado suelos, esto como consecuencia del intenso intemperismo y la erosión a la que ha sido sujeto. Salvo la parte alterada y fracturada, cuando alcanza un espesor considerable, llega a almacenar cantidades significativas de agua; la parte sana del granito se considera impermeable.

Tobas y andesitas. Se presenta como una colada andesítica porfídica de color morado, fracturada y un poco alterada que aflora en las estribaciones de la sierra. Posiblemente su edad corresponda al Paleógeno y Neógeno ya que se encuentra cubierta por una capa de suelo limo-arcilloso. Por su constitución litológica se clasifica como una unidad impermeable para fines hidrogeológicos.

Sedimentos aluviales. Está constituida por arenas finas-medias, transportados 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.

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

Sedimentos 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. Esta unidad presenta alta permeabilidad, misma que superficialmente facilita la infiltración del agua de lluvia. Además, esta unidad es susceptible de inundarse durante las crecientes del río, razón por la cual puede llegar a funcionar como acuífero, cuando alcanza un espesor considerable.

Sedimentos de Litoral. Esta unidad se encuentra conformada por arena medias y finas, misma que cubren la totalidad de la barra, presenta buena permeabilidad. Al igual que la unidad anterior, su distribución es escasa.

La geología estructural está influenciada por la complejidad tectónica que presenta la zona. En las rocas cretácicas que conforman la unidad de calizas y lutitas es común la presencia de plegamientos, pero debido a su naturaleza compacta no se han desarrollado conductos de disolución. 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 y 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.

Las rocas metavolcánicas forman un anticlinal asimétrico hacia el noreste, con dirección general NW-SE. Al surponiente de esta estructura se encuentra un sinclinal recostado hacia el noreste, cuyo flanco suroccidental está en contacto con tobas basálticas levemente inclinadas hacia el suroeste, a las cuales se les interpreta como el estrato que cabalga con una inclinación hacia el surponiente. Las relaciones estratigráficas y estructurales del área indican los efectos de dos períodos de deformación compresiva, que actuaron desde el suroeste hacia el noreste.

Para entender mejor la complejidad de la geología del estado, de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano, es necesario entender el marco tectónico bajo el cual se formaron. Con base en lo anterior, en la literatura se plantean diferentes nombres para los terrenos y aún está en discusión su extensión y límite, el estado de Guerrero cuenta con un super-terreno y dos terrenos.

TERRENO GUERRERO

El terreno Guerrero constituye el súper-terreno que ha sido el centro de controversias tanto acerca de su contenido como de sus límites; está dividido en cinco subterrenos que cubren la mitad occidental del estado.

TERRENO MIXTECO

El Terreno Mixteco aflora en la parte nororiental del estado, teniendo, dentro de los confines del estado, aproximadamente 120 km de largo y 130 km de ancho, es el único de los terrenos guerrerenses al que con seguridad se le conoce basamento, constituido por el Complejo Acatlán, del Paleozoico Inferior, cubierto en forma aislada por sedimentos del Pérmico, más ampliamente por una secuencia del Jurásico y, por último, por una secuencia de calizas del Albiano, mejor desarrollada en lo que constituye la plataforma Guerrero-Morelos (Ramírez Espinosa, 1982). Estudios paleomagnéticos indican que las rocas a partir del Albiano sufrieron muy poco o ningún desplazamiento en el Terreno Mixteco con respecto a la placa estable de Norteamérica.

La localización del límite entre los terrenos Guerrero y Mixteco es controversia. El Complejo Acatlán en su exposición más occidental cabalga sobre carbonatos cretácicos a lo largo de la falla inversa de Papalutla (de Cserna *et al*, 1980).

Para algunos autores, los carbonatos de la plataforma Guerrero-Morelos constituyen parte del Terreno Mixteco, mientras que para otros forman parte del Terreno Guerrero. De ser así, la falla de Papalutla sería el límite de los terrenos Mixteco y Guerrero.

Sin embargo, en el pozo de Zoquiapan, perforado por Petróleos Mexicanos en 1993, a los 1,576 m de profundidad se cortó el Complejo Acatlán, lo que sostiene la idea de que por lo menos la mayor parte de la plataforma tiene al Terreno Mixteco como basamento.

TERRENO XOLAPA

El Terreno Xolapa es el más grande, pero el menos conocido de los terrenos en el sur de México. Comprende un área aproximada de 70 a 100 km de amplitud y se extiende 600 km a lo largo de la costa del Pacífico. Este terreno representa la raíz de un arco magmático del Mesozoico Medio al Paleógeno, caracterizado por orto y paragneis y migmatitas, en conjunto con plutones sintectónicos y postectónicos, consistiendo en rocas con un alto grado de metamorfismo.

Los contactos del Terreno Xolapa con los terrenos Guerrero y Mixteco están caracterizados por milonitas, con una asociación a fallas normales (Herrmann, 1994), producto de reactivación de otras estructuras (Tolson, 1997).

Con base en la magmatización a gran escala de la corteza media e inferior, y plutonismo granodiorítico, tonalítico y granítico generalizado, el Complejo Xolapa se interpreta como un arco magmático (Ortega-Gutiérrez, 1981), construido por un proceso continuo de emplazamiento de magma y magmatización de la corteza. Sabanero Sosa (1990) sostiene que el terreno Xolapa representa un terreno metaplutónico, que se ha formado por procesos de desarrollo de corteza continental, al lado del margen truncado por el desplazamiento del bloque Chortis al SE durante el Eoceno. Sedlock y colaboradores (1993) señalan que el límite por falla del Terreno Xolapa con el Terreno Guerrero está completamente destruido por intrusiones graníticas del Paleógeno y Neógeno al este de Zihuatanejo y Petatlán.

Los intrusivos de los terrenos Guerrero y Xolapa, según dataciones isotópicas de Rb-Sr, indican un decremento hacia el SE en las edades de los minerales, desde 80 ± 3 Ma en Puerto Vallarta, Jalisco, hasta 119 ± 3 Ma en Puerto Ángel, Oaxaca, independiente de la edad del metamorfismo de las rocas.

Así en Acapulco se obtuvo una edad de 48 ± 1 Ma (Eoceno Medio) para la intrusión en esta área y en Pinotepa Nacional, Oaxaca, de 25 ± 1 Ma (Oligoceno Superior).

4.2 Geología estructural

La tectónica que originó a los terrenos y complejos geológicos que se encuentran en el estado de Guerrero es complicada y sólo ha sido objeto de estudios parciales. La teoría de tectónica de placas explica parte de los eventos geológico tectónicos que afectan al estado de Guerrero. Este se sitúa en el borde sudoriental de la placa Norteamericana la cual limita con la Placa Oceánica de Cocos. La interacción de estas dos placas a conformado un límite convergente formado por estructuras geológicas importantes como es la Trinchera de Acapulco, la Sierra Madre del Sur y la Faja Volcánica Transmexicana (Eje Neovolcánico), en donde se ha desarrollado fracturamiento, fallamiento y plegamiento de la corteza terrestre, acompañado de actividad sísmica importante.

Los terrenos cristalinos del sur de México fueron subdivididos por Ortega-Gutiérrez (1981) en los Complejos Oaxaqueño (Proterozoico Medio), Acatlán (Paleozoico) y Xolapa y Tierra Caliente (Paleozoico?-Mesozoico).

La edad, deformación, estratigrafía y metamorfismo del Complejo Oaxaqueño son interpretados en términos de un ciclo tectónico grenviliano. Los cinturones de milonitas en tres lados del Complejo Oaxaqueño representan movimientos intensos de fallamiento derivados de la acreción y choque de los elementos corticales.

El Complejo Acatlán polimetamórfico se compone de dos elementos, el primero consiste en una placa autóctona y otra alóctona que se interpretan en términos del ciclo de Wilson como de edad paleozoica y se relacionan con la apertura y cierre de un océano pre-Atlántico.

Los complejos metamórficos Xolapa y Tierra Caliente (Esquisto Taxco, Roca Verde Taxco Viejo, Esquisto Tejupilco, etc.), se asocian respectivamente con elementos infracortical y supracortical de arcos magmáticos y cuencas sedimentarias asociadas, que se desarrollaron en respuesta de la subducción de la placa pacífica, principalmente durante la fase mesozoica del régimen tectónico cordillerano. Las rocas metamórficas del Complejo Xolapa, en el que se ubica el acuífero, tienen una historia geológica compleja de deformación, intrusión y metamorfismo.

Durante el Jurásico-Cretácico, el Complejo experimentó corrimientos hacia el norte sobre una falla o fallas con inclinación hacia el sur y produjo una faja gruesa de rocas cataclásticas con inclinación en la misma dirección. Durante una segunda etapa de deformación, un evento de transtensión oblicua sinistral produjo milonitas inclinadas hacia el norte con una geometría de fallas normales, adelgazamiento tectónico y una cantidad indefinida de corrimientos sinistral a lo largo del límite septentrional del Complejo.

La característica estructural dominante hoy en día es la foliación gnéisica y su dirección regional más o menos paralela a la margen del pacífico (WNW-ESE). Los episodios de fallamiento provocaron la formación de cuencas endorreicas, en donde se depositaron las capas rojas perteneciente a la formación Balsas.

En el Oligoceno-Mioceno, la reanudación de la zona de subducción produjo de nueva cuenta un arco magmático continental, representado por el extenso episodio de vulcanismo, el levantamiento del Complejo se da sobre fallas normales con inclinación hacia el norte en respuesta a la transtensión sinistral sobre un límite mayor hacia el sur.

4.3 Geología del subsuelo

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 que constituyen el lecho y la llanura de inundación del Río Coyoquilla; y en su porción inferior por conglomerados y rocas ígneas fracturadas. Las evidencias directas e indirectas demuestran que el espesor del medio granular 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 poco más de 100 de metros en la planicie costera

El medio fracturado está asociado a la zona de alteración de las rocas intrusivas principalmente y a la presencia de fracturamiento en rocas volcánicas; su espesor varía, de unos cuantos metros hasta alcanzar 50 m en algunas zonas; sin embargo, su promedio es de alrededor de 20 m, según lo demuestran las exploraciones geofísicas

El basamento geohidrológico está conformado por la secuencia de rocas ígneas cristalinas de composición granítica del complejo Xolapa, mismas que conforman el núcleo de la sierra localizada al norte.

5 HIDROGEOLOGIA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de un acuífero de tipo **libre** heterogéneo y anisótropo, constituido por materiales granulares porosos y por rocas fracturadas. 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 baja y se ubican en la proximidad del cauce de los ríos y arroyos, así como en la angosta planicie costera.

La disposición espacial de estos medios está limitada ya que existe muy poca continuidad hidráulica entre ellos, por lo que el agua subterránea solo puede trasladarse en distancias cortas aflorando, al alcanzar su frontera, en forma de pequeños manantiales “lloraderos” para posteriormente escurrir e incorporarse a un cauce superficial y posiblemente alimentar de nuevo alguna zona permeable aguas abajo.

En algunas zonas, es posible el paso de un medio a otro en forma natural en respuesta con el contraste de conductividades hidráulicas (K), la distribución de cargas hidráulicas y el gradiente hidráulico.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte del estudio realizado en el año 2010, se ejecutaron 10 pruebas de bombeo de corta duración tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de **1.5×10^{-2} a $7.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un promedio es **$2.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , consistente con los obtenidos en acuíferos vecinos.

De acuerdo con el espesor saturado, la conductividad hidráulica es consistente con la obtenida en los acuíferos vecinos, en la que se registran valores varían de **0.15 y $7.56 \times 10^{-3} \text{ m/s}$** , con un valor promedio de **$3.2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$** . Ninguna prueba contó con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

No existe registro piezométrico histórico consistente debido a que no se tiene definida una red piezométrica. Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea se consideró únicamente la información recabada durante el estudio realizado en 2010.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De la configuración de la profundidad al nivel estático mostrada en la figura 4, se puede observar que los valores varían desde unos cuantos centímetros, en la región costera, hasta poco más de 10 metros que se registran en la porción central del valle, al poniente de la comunidad de Coyuquilla Sur.

En la comunidad Coyuquilla Norte se registran profundidades someras entre 0.5 y 1.0 m; en tanto que en la zona poniente, donde se localizan los poblados Cayacalito y Arroyo Seco, se aprecian profundidades máximas puntuales de 4.0 metros, que disminuyen gradualmente hacia la Laguna El Tular. Hacia la zona de Papanoa, la profundidad del nivel estático varía entre 2 y 3 m.

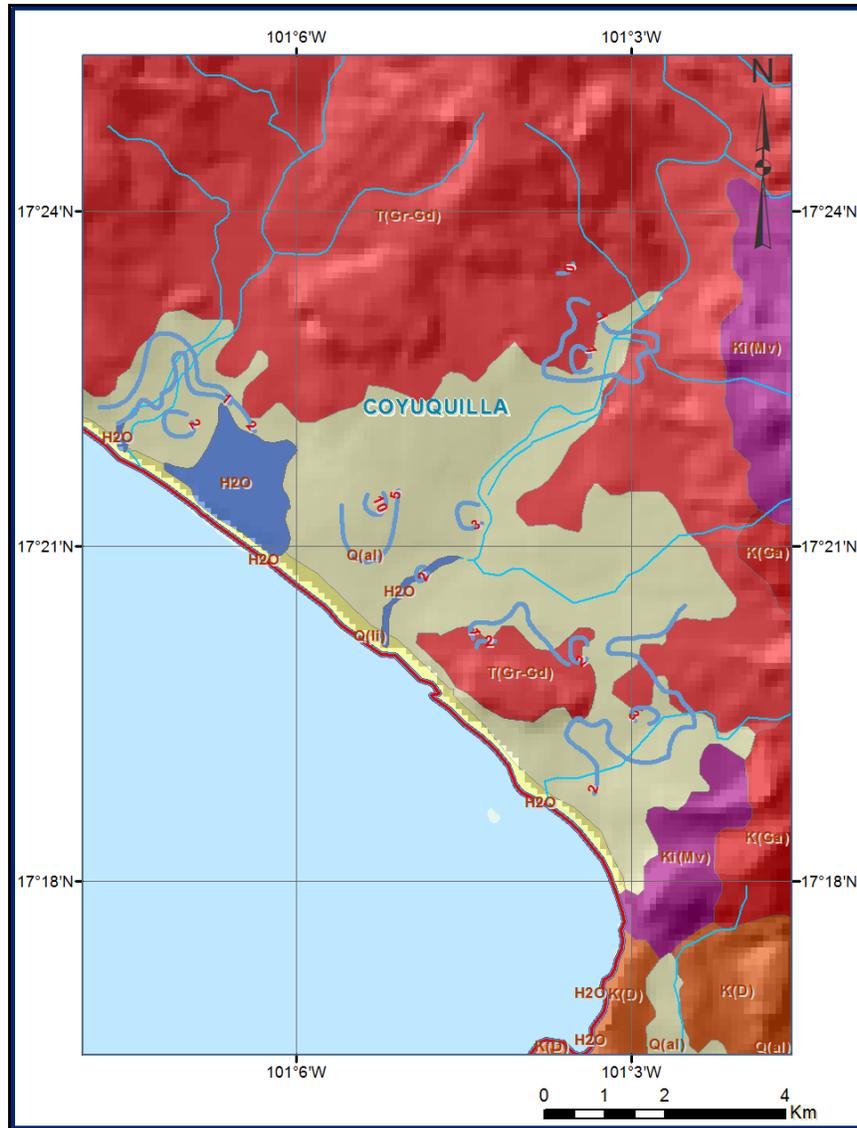


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático para 2010 (figura 5), muestra claramente el reflejo de la topografía evidenciando de esta manera que la dirección preferencial del flujo subterráneo es de norte a sur, hacia la costa, y que no ha sufrido alteraciones importantes causadas por la concentración de pozos o del bombeo. Los valores varían desde algunos msnm en la porción costera, hasta los 70 msnm al norte de Coyoquilla, conforme se asciende topográficamente, hacia las estribaciones de las sierras limítrofes. De esta manera se muestra la dirección preferencial del flujo subterráneo de norte a sur, paralela a la dirección del escurrimiento del río Coyoquilla, con su descarga hacia el mar.

Al occidente del acuífero, en la zona de Arroyo Seco, se presentan elevaciones máximas de 23 msnm, que disminuyen hacia el sur en dirección a la línea de costa, hasta alcanzar valores de 10 metros.

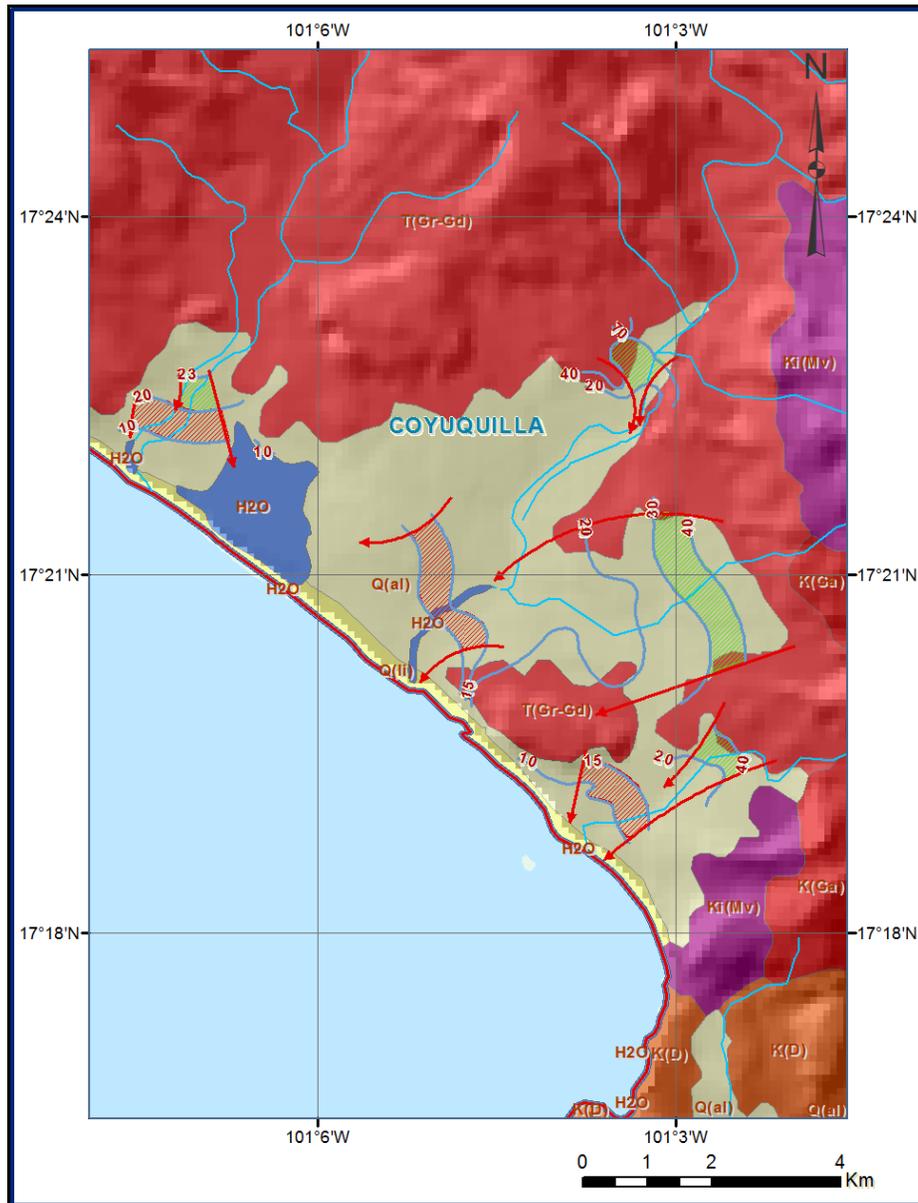


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

Por su parte en la porción centro oriental del acuífero se observan valores máximos de 40 msnm, equipotencial que corre de forma paralela a los altos topográficos de esta zona, disminuyendo al poniente en dirección a la comunidad Coyoquilla Sur, donde se registra el equipotencial 20 msnm.

A partir de este punto los valores de elevación disminuyen en dirección hacia la línea de costa donde se registró la elevación de 5 msnm.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Respecto a la evolución del nivel estático para el 2010, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar una configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas en tiempo y espacio, son insuficientes y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, el volumen de extracción es inferior al valor más conservador de la recarga que pudiera estimarse.

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 del estudio realizado en el 2010, se tomaron 23 muestras de agua subterránea para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron iones mayores, nitratos, bromuros, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, dureza total y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de Sólidos Disueltos Totales (SDT) varían de 190 a 880 ppm,

Sin embargo, en 5 aprovechamientos localizados en la zona costera se sobrepasa el límite máximo permisible de 1000 ppm, establecido 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

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 media (C_2) y contenido medio de sodio intercambiable (S_2), lo que indica que es apropiada para su uso en riego sin restricciones. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante al grupo de aguas "Cloruradas mixtas-magnésicas"

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró a existencia de 164 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 9 son pozos y 155 norias; de ellos, sólo 3 se encuentran inactivos. El volumen de extracción conjunto se estimó en **2.1 hm³ anuales**, de los cuales 1.2 hm³ (57.1%) se destinan al uso agrícola, 0.8 hm³ (38.1%) para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, y los 0.1 hm³ restantes (4.8%) se utilizan para satisfacer las necesidades del uso doméstico abrevadero.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2010 en una superficie de 45 km² que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localiza la gran mayoría de los aprovechamientos.

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:

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

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 de un acuífero:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero de Coyoquilla, 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 (Rv), así como de la que proviene de zonas montañosas contiguas, localizadas sobre la porción norte del valle, a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$E_h + R_v - B - S_h - ETR = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde

E_h : Recarga por flujo horizontal

R_v : Infiltración por lluvia

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo horizontal

ETR : Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera:

$$R_v = S_h + B + ETR \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

La estimación de las entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático mostrada en la figura 5, mediante la siguiente expresión:

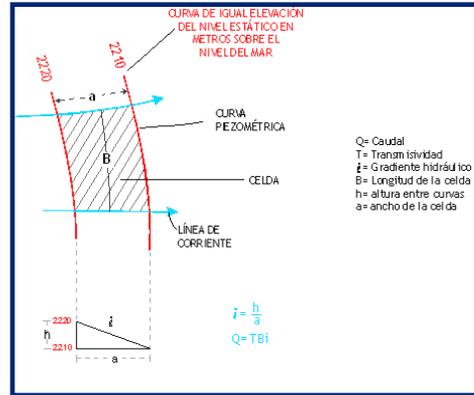
$$Q = T * B * i$$

Donde:

T: Transmisividad en el canal de flujo (m²/s)

B: Largo del canal de flujo (m)

i: Gradiente hidráulico ($i = h_2 - h_1 / a$); h y a son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.



El cálculo de las entradas subterráneas para el año 2010 se presenta en la tabla 2, en la que se observa que su valor total es de **11.3 hm³ anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas

CELDA	LONGITUD B	ANCHO a	$h_2 - h_1$	Gradiente i	Trasmisividad T	CAUDAL Q	VOLUMEN
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ² /s)	(m ³ /s)	(hm ³ /año)
E1	700	200	20	0.1	0.002	0.14	4.4
E2	2000	710	10	0.0141	0.002	0.0563	1.8
E3	1200	410	20	0.0488	0.002	0.1171	3.7
E4	1000	460	10	0.0217	0.002	0.0435	1.4
Total entradas							11.3

Los valores de T utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son valores promedio obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, obtenidas tanto en este acuífero como en los acuíferos vecinos, adaptadas al espesor saturado en cada zona y correlacionadas hidrogeológicamente debido a que tanto el origen como la evolución geológica son comunes en esta región del país.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas por flujo subterráneo (Sh) y por la evapotranspiración en la zona de niveles freáticos someros (ETR). La descarga por manantiales (Dm) no está considerada en balance ya son de régimen intermitente y se ubican en fuera del área de balance, en zonas topográficamente más altas

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

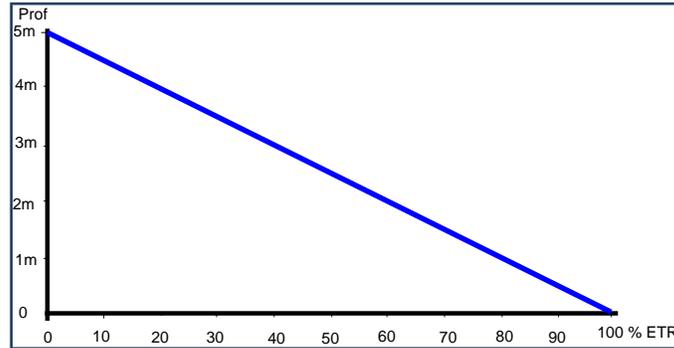
Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (Evapotranspiración Potencial y la Evapotranspiración Real).

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura que se estima en 28.5 °C, la precipitación media anual es de 1,095 mm y la evaporación potencial es de 1,019 mm.

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$		$L = 300 + 25T + 0.05T^3$	
T (°C) =	28.5	P ² =	1199025
P(mm) =	1095	L ² =	4708710.13
L =	2169.95625		
ETR (mm)	1019.0		

El cálculo de la evapotranspiración corresponde con aquella pérdida de agua freática somera y que se aplica al balance de aguas subterráneas, considerando que el concepto tiene influencia hasta una profundidad máxima de 5 m, hasta la que penetra la vegetación en este tipo de climas, bajo el siguiente proceso:

En zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 5 m, se calcula el valor de ETR exclusivamente para estas zonas de niveles someros y se pondera el valor del volumen obtenido, partiendo de una relación lineal inversa entre la profundidad al nivel estático (PNE) y el % de ETR. Suponiendo una profundidad límite de extinción de 5 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 5 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 4 m el 20%, a 2 m el 60% etc.



De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno por la lámina de evapotranspiración obtenida y por el 50% que le corresponde de acuerdo con la gráfica anterior. Tomando en cuenta una superficie de 45 km² de la zona costera en la que la profundidad media al nivel del agua subterránea es de 2.5 m y una lámina de evapotranspiración obtenida de 1019 mm (con valores de 1067 mm anuales para la precipitación y 28.5° C de temperatura):

$$ETR = 45 \text{ km}^2 (1.019 \text{ m}) (0.5) = 22.9$$

Por lo tanto; **ETR = 22.9 hm³/año.**

7.2.2 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría el volumen de extracción por bombeo es de **2.1 hm³/año.**

7.2.3 Salidas subterráneas por flujo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático de 2010 presentada en la figura 5. Su valor es de **5.4 hm³/año**, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas subterráneas

CELDA	LONGITUD B	ANCHO a	h_2-h_1	Gradiente i	Trasmisividad T	CAUDAL Q	VOLUMEN
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ² /s)	(m ³ /s)	(hm ³ /año)
S1	1400	440	5	0.0114	0.002	0.0318	1
S2	2400	300	5	0.0167	0.002	0.08	2.5
S3	1200	410	10	0.0244	0.002	0.0585	1.8
Total salidas							5.4

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo.

Los registros existentes se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Adicionalmente, la configuración de elevación del nivel estático no muestra alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento, que pudieran ser causadas por la concentración del bombeo y/o de aprovechamientos.

Por ello se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

Por lo tanto, $\Delta V(S) = 0$

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$R_v = S_h + B + ETR \pm \Delta V(S) - E_h \quad (2)$$

Sustituyendo valores:

$$R_v = 5.4 + 2.1 + 22.9 + 0 - 11.3$$
$$R_v = 19.1 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Por lo tanto, el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de todas las entradas:

$$R = R_v + E_h$$
$$R = 19.1 + 11.3$$
$$R = 30.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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 (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 **30.4 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNCOM)

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 de **21.4 hm³/año**, que corresponde a la salidas por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina y el 70 % de la evapotranspiración que debe preservarse para proteger la flora ribereña y el ecosistema costero del estero “El Tular”.

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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **5,966,763 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 30.4 - 21.4 - 5.966763 \\ \text{DMA} &= 3.033237 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **3,033,237 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de su disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero en la que actualmente existe información hidrogeológica para su evaluación.

No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación.

Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere al registro periódico piezométrico y ejecución de pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9 BIBLIOGRAFÍA

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.

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio de Evaluación geohidrológica de los Acuíferos San Luis y Coyuquilla, en el estado de Guerrero, Realizado por la empresa GEOPSA S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1978. Estudio Geohidrológico en cinco zonas de Guerrero. Elaborado por la empresa GEORAMA, S.A.