

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LA UNIÓN (1213), 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.....	4
3. FISIOGRAFIA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica.....	6
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGIA.....	7
4.3 Estratigrafía.....	8
4.4 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGIA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos.....	15
5.3 Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	17
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS.....	18
7.1 Entradas.....	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	20
7.1.3 Retornos de riego (Rr).....	21
7.2 Salidas.....	22
7.2.2 Evapotranspiración (ETR).....	22
7.2.3 Bombeo (B.....)	23
7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	23
7.2.5 Descargas naturales por flujo base (Dfb).....	24
7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	24
8. DISPONIBILIDAD.....	25
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
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.....	27

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 La Unión, definido con la clave 1213 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noroccidental del Estado de Guerrero, entre los paralelos 17°46' a 18°18" de latitud norte y los meridianos 101°19' a 101°53' de longitud oeste abarcando una superficie aproximada de 2,085 km². Colinda al norte con el acuífero Coahuayutla, al este con los acuíferos Paso de Arena e Ixtapa, al sur con el acuífero Panta y el Océano Pacífico y al oeste con el acuífero El Naranjito, todos ellos pertenecientes al estado de Guerrero (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se ubica parcialmente en los municipios Coahuayutla de José María Izazaga y La Unión de Isidoro Montes de Oca. 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	101	22	30.7	18	12	45.9	
2	101	23	11.5	18	10	52	
3	101	19	40	18	9	14.6	
4	101	22	10.5	18	7	25.7	
5	101	21	23.6	18	3	49	
6	101	26	22.7	17	59	14.1	
7	101	29	8.1	17	58	14.6	
8	101	29	40.9	17	55	22.6	
9	101	31	29.9	17	54	20.6	
10	101	33	44.9	17	54	54.9	
11	101	35	45.4	17	53	43.1	
12	101	39	8.4	17	48	5.4	
13	101	41	54.1	17	46	25.5	
14	101	42	24.3	17	45	59	DEL 14 AL 15 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
15	101	53	53	17	55	58.9	
16	101	50	48.2	17	58	27.8	
17	101	48	53.7	18	2	56.6	
18	101	50	50.9	18	5	18.2	
19	101	50	26.8	18	9	19.8	
20	101	49	11.6	18	13	35	DEL 20 AL 21 POR EL LIMITE ESTATAL
21	101	49	48.5	18	15	49.4	
22	101	47	0.8	18	16	54.1	
23	101	39	8.8	18	15	36.3	
24	101	28	39.6	18	17	53.7	
1	101	22	30.7	18	12	45.9	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero La Unión, pertenece al Organismo de Cuenca Balsas y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en 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 la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 27 de junio de 1975. Este decreto es tipo II, que solo 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 2. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. Actualmente dentro del acuífero no existen distritos o unidades de riego, ni tampoco se ha constituido a la fecha 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, 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:

ROCAS METAVOLCÁNICAS E INTRUSIVOS RELACIONADOS PALEOZOICOS DE LA REGIÓN DE PETATLÁN, ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por Zoltan de Cserna del Instituto de Geología de la UNAM, en 1978. En este estudio se describe la litología de área cercana al municipio de Petatlán, así como los principales rasgos estructurales y el significado geológico regional.

ESTUDIO DE LA ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE LA SABANA, EN ACAPULCO, GRO. Elaborado por Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A. en 1983. Los objetivos principales de este estudio fueron: analizar las condiciones geohidrológicas para dictaminar la variación que ha tenido la recarga en los acuíferos de la Sabana y efectuar investigaciones geofísicas para localizar sitios adecuados para de perforación de pozos.

Los resultados indicaron que en el campo de pozos de La Sabana contenía altas concentraciones de fierro y manganeso en los pozos de agua potable y que la recarga principal proviene de la infiltración de la lluvia y del escurrimiento superficial a lo largo del cauce del río La Sabana.

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 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.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA POSICIÓN DE LA INTERFASE MARINA EN LA PORCIÓN COSTERA DEL ACUÍFERO LA SABANA, GUERRERO. Elaborado por GEOPSA SA de CV en 2007. Los objetivos principales fueron determinar la elevación del nivel estático en un período de tiempo determinado; configurar la profundidad, elevación, evolución del nivel estático. Se trazó la red de flujo, en la cual se observó que el aporte de agua subterránea ocurre a lo largo del curso de las principales corrientes superficiales hacia la costa.

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO (1218) SAN JERONIMITO, ESTADO DE GUERRERO. Elaborado por la CONAGUA y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007.

En este estudio se describe la estratigrafía, geología estructural, geología del subsuelo, así como el tipo de acuífero y sus parámetros hidráulicos que sirvieron para el planteamiento del balance de aguas subterráneas.

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 elaborar el balance hidrometeorológico del acuífero.

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 de estudio 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.

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 La Unión, se encuentra dentro de las subprovincias Taludes Meridionales y Planicie Costera, cubriendo una mayor superficie de esta última.

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

En la zona de estudio el clima varía en relación a su relieve, presentándose dos tipos en la región montañosa; de acuerdo con los criterios de Köppen modificados por Enriqueta García; 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 (Aw₀) cálido subhúmedo, y (Aw₁) cálido subhúmedo.

Se analizó la información de tres estaciones climatológicas con registro histórico; la estación Zihuatanejo con datos de 1964 a 2003; La Unión de 1967-2002 y la estación Ixtapa-Zihuatanejo de 1982-2000; de acuerdo con la información analizada la temperatura media anual se estima en 25.6°C, la precipitación media anual es de 1,067 mm y la evaporación potencial media anual de 1,973 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero La Unión se ubica parcialmente en dos Regiones Hidrológicas, la porción norte pertenece a la región hidrológica RH 18 “Balsas” y la parte sur a la Región Hidrológica 19 “Costa Grande de Guerrero”, sobre la vertiente sur de la Sierra Madre del Sur. En particular, el acuífero pertenece a la cuenca denominada “Río Ixtapa y Otros”, esta cuenca drena hacia el Océano Pacífico. El principal escurrimiento es el río La Unión, pero, no existe infraestructura hidráulica para su aprovechamiento.

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 presentan un relieve abrupto y sumamente accidentado, con presencia de drenaje dendrítico y la planicie o llanura costera donde se ha desarrollado un drenaje de tipo paralelo.

Las sierras constituidas por rocas sedimentarias, presentan un ciclo geomorfológico maduro, ya que sus perfiles son suaves y ondulados. 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. GEOLOGIA

La geología del estado de Guerrero es muy compleja, ya que la entidad 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 (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 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 de estudio 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 motivo el depósito de sedimentos calcáreos que dieron origen a calizas de estructura masiva.

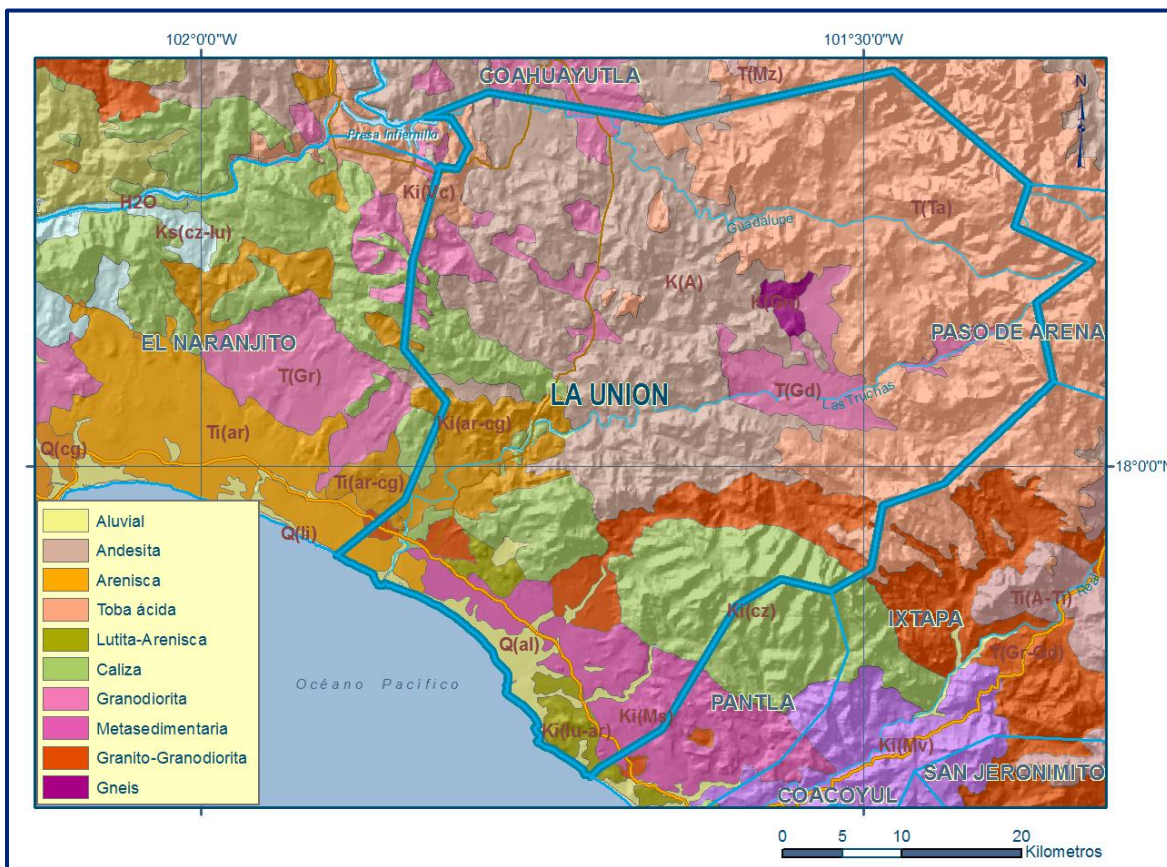


Figura 2. Geología del acuífero

4.3 Estratigrafía

El registro estratigráfico comprende del Paleozoico al Reciente y está conformado por rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias. En la región aledaña al área de estudio 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 y Neógeno.

El acuífero La Unión 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 de terreno, que se localiza al occidente de Acapulco. Tiene menos de 10 km de anchura en promedio, ampliándose a 20 km o más entre los ríos Papagayo y Verde.

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

Del 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 le atribuye una edad Eoceno. A partir de esta edad, se considera que los terrenos tectonoestratigráficos comparten una historia en común. La zona presenta 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 esta unidad 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 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 puede tener 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 que 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 lo que 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 presenta un espesor considerable.

Sedimentos de Litoral. Esta unidad se encuentra conformada por arenas medias y finas 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 ocurrido, 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.

Para entender mejor la complejidad de la geología del estado, y 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 existente se plantean diferentes nombres para los terrenos y aún está en discusión su extensión y límite, el estado de Guerrero cuenta con un superterreno 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 100km 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).

4.4 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 La Unión; y en su porción inferior por conglomerados, rocas sedimentarias e 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 algunas decenas 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 sedimentarias; 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 (figura 3).

Dependiendo de la naturaleza de los materiales o rocas con los que se encuentra en contacto, hacia la parte alta del cauce del río los límites lateral e inferior del acuífero están constituidos por las rocas metamórficas, el granito y la unidad andesítica que constituyen el basamento y las barreras al flujo subterráneo.

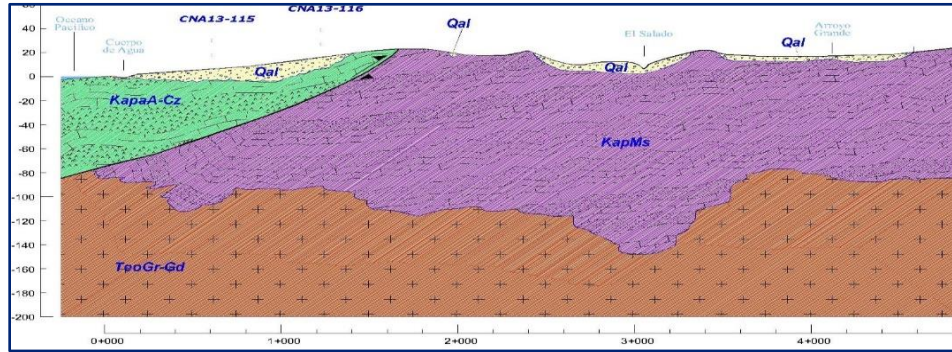


Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGIA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de acuíferos aislados de **tipo libre** heterogéneos y anisótropos, constituidos, por un lado, de materiales granulares porosos y por otro de materiales fracturados.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semiconsolidados 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 2009, se ejecutaron 11 pruebas de bombeo tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, cuya duración varió de 1 a 24 horas, en aprovechamientos que extraen agua, tanto de los materiales granulares como los de las zonas alteradas de las rocas ígneas y metamórficas que abundan en la región.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos, se establece que los valores de transmisividad varían de **1.0×10^{-6} a $8.3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$** . Los valores bajos de transmisividad corresponden a la parte alterada, con presencia de arcillas, de las rocas graníticas y metamórficas.

De acuerdo con el espesor saturado, la conductividad hidráulica es consistente con la obtenida en los acuíferos vecinos, en la que se registran valores de **$3.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$** (3 m/d). Las pruebas de bombeo no contaron con pozo de observación, por lo que no fue posible estimar el 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 2009.

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, medidos en norias, varían de 1 a 9 m, a lo largo del Río La Unión y otros arroyos, conforme se asciende topográficamente de la zona costera hacia las estribaciones de las sierras.

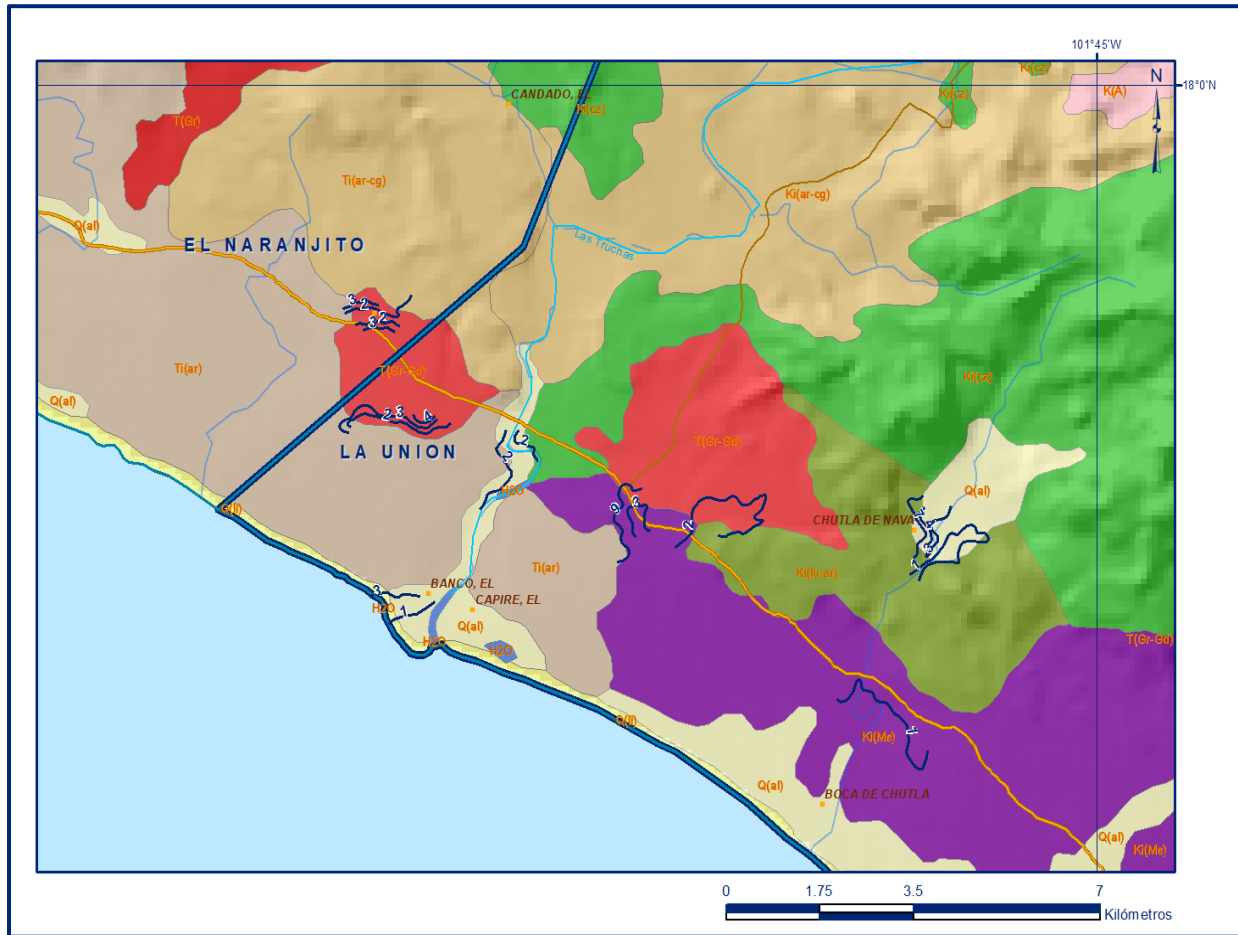


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático, la información es escasa y se encuentra dispersa en la porción baja del acuífero; sin embargo, con criterio hidrogeológico es posible esbozar el flujo subterráneo procedente de las estribaciones de las sierras que delimitan el valle, de la elevación 40 al 5 msnm. De esta manera, el flujo subterráneo se dirige hacia la zona costera (figura 5).

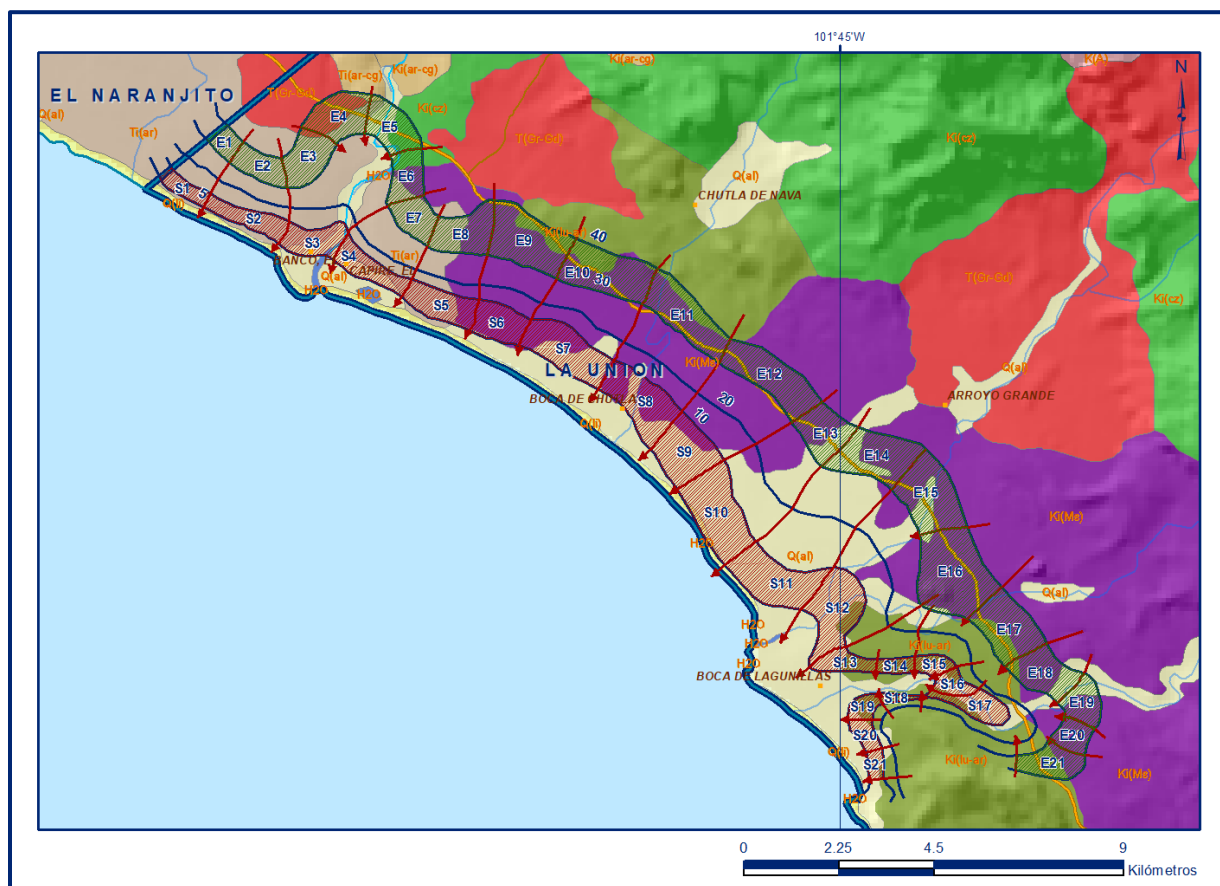


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Respecto a la evolución del nivel estático, 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 2009, se tomaron 15 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 160 a 2444 ppm. Sólo una muestra sobrepasa la norma para agua potable (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.) en Dureza Total, Na^{++} y Cl^- . De la representación de los resultados en los diferentes diagramas, se concluye que la familia de agua predominante es la sódica-bicarbonatada. Para las aguas procedentes de los conglomerados y rocas metasedimentarias dominan las familias Na/HCO_3 ; y $\text{Mg}/\text{Na}-\text{HCO}_3$, en tanto que para el agua de las rocas graníticas predominan las familias $\text{Na}-\text{Cl}/\text{HCO}_3$, Na/HCO_3 y $\text{Na}-\text{SO}_4/\text{HCO}_3$. Finalmente, en lo aprovechamientos ubicados en la zona costera predomina el agua de la familia sódico-clorurada (Na/Cl). En lo que se refiere a la conductividad eléctrica medida *in situ* al momento de recolección de las muestras, la mayoría registró conductividades menores que 1500 micro-Siemmens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

Debido a que el censo realizado en el 2009, no cubrió en su totalidad todos los aprovechamientos existentes en el acuífero, se tomó en cuenta la información reportada por el Registro Público de Derechos de Agua para este mismo año, que considera un total de 272 de aprovechamientos, la mayoría de ellos norias que abastecen las necesidades del uso doméstico-abrevadero. Del total de obras, 229 (84%) se destinan al uso agrícola, 41 (15%) para uso público urbano y 2 (1%) para uso pecuario. El volumen de extracción conjunta asciende a **11.4 hm^3 anuales**, de los cuales 10.3 (90.3%) son para uso agrícola, 1.0 hm^3 (8.8%) para público-urbano y los 0.1 hm^3 restantes (0.9%) para uso pecuario. La mayoría de los aprovechamientos no están equipados, presentan bombas sumergibles con diámetros de succión y descarga entre 2 y 2 ½ pulgadas.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año 2009, en una superficie de 143 km^2 del acuífero, en la que están dispersos 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:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe el acuífero (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración a lo largo de los escurrimientos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y por flujo subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Rr), que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela. Debido a que en la superficie que cubre el acuífero no se ubican poblaciones importantes, nos y considera recarga inducida proveniente de la fuga en las redes de agua potable y alcantarillado.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio de almacenamiento (ΔV) tiende a ser nulo y existe información para estimar las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$Rv + Eh + Rr - ETR - B - Sh - Dn = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv= Recarga vertical;

Eh= Entradas por flujo subterráneo horizontal;

Rr= Retornos de riego;

ETR= Evapotranspiración;

Dfb= Descarga por flujo base;

B= Bombeo;

Sh= Salidas por flujo subterráneo horizontal;

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = Sh + B + ETR + Dfb \pm \Delta V(S) - Eh - R_r \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio 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.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2009, mostrada en la figura 5, mediante la siguiente expresión:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

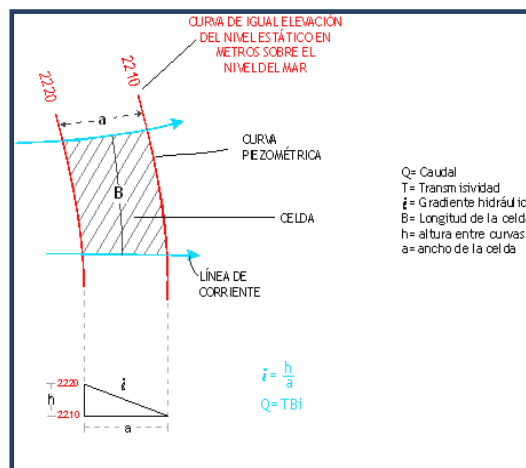
Donde:

Q= Gasto;

T = Transmisividad;

B= Longitud de la celda;

i = Gradiente hidráulico;



Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron del promedio por zona de las pruebas de bombeo realizadas como parte del estudio realizado en el año 2009, adaptadas al espesor saturado.

El cálculo de las entradas subterráneas para el año 2009 se presenta en la tabla 2, en la que se observa que su valor total es de **14.2 hm³ anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas

No. de Celda	Largo(l) (m)	Ancho (B) (m)	Gradiente hidráulico i	K(media) m/día	Espesor m	Trasmisividad m ² /s	Caudal Q= Tai m ³ /s	Volumen entradas hm ³ /anual
E1	650	790	0.015385	3.0	40	0.001389	0.0169	0.5
E2	525	1,315	0.019048	3.0	40	0.001389	0.0348	1.1
E3	920	1,450	0.010870	3.0	40	0.001389	0.0219	0.7
E4	1,050	1,300	0.009524	3.0	40	0.001389	0.0172	0.5
E5	950	1,300	0.010526	3.0	40	0.001389	0.0190	0.6
E6	660	1,180	0.015152	3.0	40	0.001389	0.0248	0.8
E7	790	1,050	0.012658	3.0	40	0.001389	0.0185	0.6
E8	920	1,450	0.010870	3.0	40	0.001389	0.0219	0.7
E9	1,180	1,840	0.008475	3.0	40	0.001389	0.0217	0.7
E10	1,050	2,100	0.009524	3.0	40	0.001389	0.0278	0.9
E11	950	2,230	0.010526	3.0	40	0.001389	0.0326	1.0
E12	850	2,360	0.011765	3.0	40	0.001389	0.0386	1.2
E13	920	1,180	0.010870	3.0	40	0.001389	0.0178	0.6
E14	1,050	1,450	0.009524	3.0	40	0.001389	0.0192	0.6
E15	1,180	1,580	0.008475	3.0	40	0.001389	0.0186	0.6
E16	1,580	1,970	0.006329	3.0	40	0.001389	0.0173	0.5
E17	1,180	1,580	0.008475	3.0	40	0.001389	0.0186	0.6
E18	920	1,315	0.010870	3.0	40	0.001389	0.0199	0.6
E19	1,050	920	0.009524	3.0	40	0.001389	0.0122	0.4
E20	790	660	0.012658	3.0	40	0.001389	0.0116	0.4
E21	920	1,315	0.010870	3.0	40	0.001389	0.0199	0.6
								14.2

7.1.3 Retornos de riego (Rr)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la agricultura.

Para este caso, se consideró que un 20 % de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, considerando la profundidad somera al nivel del agua subterránea y que se utiliza un volumen de 10.3 hm³ para el uso agrícola con riego por gravedad. Por lo tanto, el volumen estimado como recarga por retorno de riego es de **2.1 hm³**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh), descarga por flujo base (Dfb) y por la evapotranspiración en la zona de niveles freáticos someros (ETR).

7.2.2 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). El escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR) es un parámetro utilizado para la recarga potencial de infiltración.

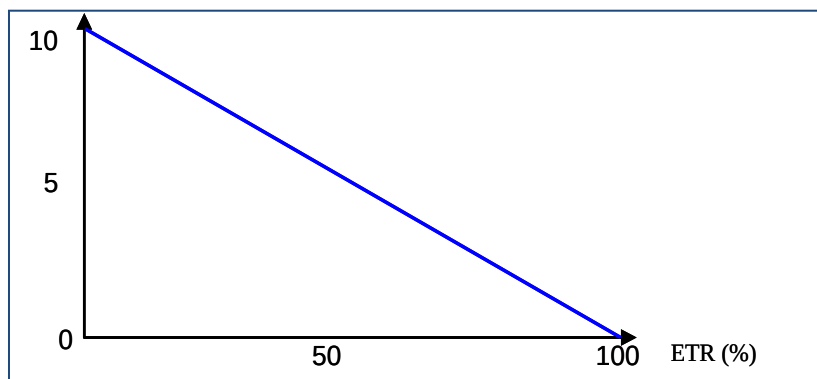
Para la obtención de este parámetro se utilizó la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación, considerando los valores medios anuales de temperatura = 25.6 °C y precipitación = 1067 mm. La lámina de ETR que se obtiene es de 950.6 mm.

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T (°C) =	25.6		
P(mm) =	1067	P ² =	1138489
L =	1778.8608	L ² =	3164345.75
ETR (mm)	950.6		

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 10 m, bajo el siguiente proceso: en zonas donde el nivel estático se encuentra a una profundidad menor a 10 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 10 m para el fenómeno de ETR, a menor profundidad mayor será el % de ETR, de tal manera que a 10 m el valor de ETR es nulo y a 0 m el valor es del 100 %, a 5 m el 50%, a 2 m el 80% etc.



Existen dos zonas del área de balance donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m, que se considera el límite de extinción para que se produzca el fenómeno de evapotranspiración, hasta donde penetran las raíces de las plantas. Una de ellas, A1 de 6.5 km² de extensión, se localiza a lo largo del Río La Unión y arroyos principales, donde la profundidad promedio al nivel del agua subterránea es de 4 m.

La segunda, A2 con una superficie de 15 km², se ubica en la franja costera, donde la profundidad promedio al nivel freático es de 2 m.

Si consideramos estas áreas donde se registran niveles freáticos someros, con cobertura vegetal cuyas raíces son suficientemente largas y susceptibles de evapotranspirar, su profundidad promedio al nivel del agua subterránea, de acuerdo con el valor de la lámina de ETR obtenida y la gráfica anterior:

$$ETR_{A1} = 6.5 \text{ km}^2 (0.9506 \text{ m}) (0.6) = 3.7$$

$$ETR_{A2} = 15.0 \text{ km}^2 (0.9506 \text{ m}) (0.8) = 11.4$$

$$\mathbf{ETR = 15.1 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

7.2.3 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción es de **11.4 hm³/año**.

7.2.4 Salidas por flujo subterráneo 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 NE presentado en la figura 5. Su valor es de **2.1 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas subterráneas

No.de Celda	Largo(l) (m)	Ancho (B) (m)	Gradiente hidráulico i	K(media) m/día	Espesor m	Trasmisividad m ² /s	Caudal Q= Tai m ³ /s	Volumen entradas hm ³ /anual
S1	260	1,180	0.019231	0.5	40	0.000231	0.0053	0.2
S2	400	1,970	0.012500	0.5	40	0.000231	0.0057	0.2
S3	525	1,315	0.009524	0.5	40	0.000231	0.0029	0.1
S4	390	1,840	0.012821	0.5	40	0.000231	0.0055	0.2
S5	660	1,710	0.007576	0.5	40	0.000231	0.0030	0.1
S6	790	1,180	0.006329	0.5	40	0.000231	0.0017	0.1
S7	920	2,230	0.005435	0.5	40	0.000231	0.0028	0.1
S8	790	1,970	0.006329	0.5	40	0.000231	0.0029	0.1
S9	1,315	1,315	0.003802	0.5	40	0.000231	0.0012	0.0
S10	1,050	1,970	0.004762	0.5	40	0.000231	0.0022	0.1
S11	920	1,970	0.005435	0.5	40	0.000231	0.0025	0.1
S12	920	1,450	0.005435	0.5	40	0.000231	0.0018	0.1
S13	260	1,315	0.019231	0.5	40	0.000231	0.0059	0.2
S14	260	1,050	0.019231	0.5	40	0.000231	0.0047	0.1
S15	390	790	0.012821	0.5	40	0.000231	0.0023	0.1
S16	660	660	0.007576	0.5	40	0.000231	0.0012	0.0
S17	520	1,580	0.009615	0.5	40	0.000231	0.0035	0.1
S18	260	1,050	0.019231	0.5	40	0.000231	0.0047	0.1
S19	400	650	0.012500	0.5	40	0.000231	0.0019	0.1
S20	400	790	0.012500	0.5	40	0.000231	0.0023	0.1
S21	400	660	0.012500	0.5	40	0.000231	0.0019	0.1
								2.1

7.2.5 Descargas naturales por flujo base (Dfb)

De acuerdo con los aforos del flujo base medidos en la estación hidrométrica La Unión, ubicada sobre el cauce del río del mismo nombre, para el periodo 1961-2008, su valor promedio es de 1175 lps, que equivalen a una descarga **de 37.0 hm³ anuales**. El río La Unión es el colector principal de la cuenca al que confluyen gran parte de los arroyos. En el caudal base está considerada la descarga de pequeños manantiales.

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:

$$R_v = Sh + B + ETR + Dfb \pm \Delta V(S) - Eh - R_r \quad (2)$$

$$R_v = 2.1 + 11.4 + 15.1 + 37.0 - 0.0 - 14.2 - 2.1$$

$$R_v = 49.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por lo tanto, la recarga total (R) es igual:

$$R = R_v + Eh + R_r$$

$$R = 49.3 + 14.2 + 2.1$$

$$R = 65.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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:

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

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 media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso su valor es **65.6 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, corresponden a la salida por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interfase marina, descarga del flujo base y el 50 % de la evapotranspiración que deben preservarse para proteger la flora ribereña y el ecosistema costero. **DNC = 46.6 hm³ anuales**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), de la Subdirección General de Administración del Agua, con fecha de corte **30 de diciembre de 2022** es de **19,116,755 m³/año**.

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 65.6 - 46.6 - 19.116755 \\ \text{DMA} &= -0.116755 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **116,755 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2007. Determinación de Agua en el Acuífero San Jeronimito, Estado de Guerrero.

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.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1983. Estudio de Actualización Hidrogeológica de la Cuenca de La Sabana, estado de Guerrero, Elaborado por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.