



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO BAHÍA CONCEPCIÓN (0331), ESTADO
DE BAJA CALIFORNIA SUR**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia fisiográfica	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía	9
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA.....	13
5.1 Tipo de acuífero.....	13
5.2 Parámetros hidráulicos	14
5.3 Piezometría.....	14
5.4 Comportamiento hidráulico.....	14
5.4.1 Profundidad al nivel estático	14
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3 Evolución del nivel estático	16
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	17
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	18
7.1 Entradas.....	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	19
7.2 Salidas	20
7.2.1 Bombeo (B)	20
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.2.3 Evapotranspiración (ETR).....	21
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)	23
8. DISPONIBILIDAD	24
8.1 Recarga total media anual (R)	24
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	25
9. BIBLIOGRAFÍA	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-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 Bahía Concepción, definido con la clave 0331 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción centro-oriental del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 26°21' y 26°54' de latitud norte y los meridianos 111°32' a 112°01' de longitud oeste cubriendo una superficie de 1,559 km². Colinda al norte-noroeste con el acuífero Mulegé, al oeste-suroeste con el acuífero La Purísima, y al sur con Rosarito, todos ellos pertenecientes al estado de Baja California Sur. Al este su límite es el Golfo de California (figura 1).

Geopolíticamente se encuentra ubicado casi en su totalidad en el municipio Mulegé, una pequeña área de la porción del sur pertenece a los municipios de Loreto y Comondú.



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 geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO 0331 BAHÍA CONCEPCIÓN							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	111	31	48.0	26	32	26.7	
2	111	31	55.9	26	30	18.4	
3	111	36	27.8	26	27	33.7	
4	111	39	27.7	26	24	52.9	
5	111	41	23.0	26	21	24.5	
6	111	43	53.2	26	22	48.6	
7	111	42	58.5	26	25	5.6	
8	111	45	18.1	26	28	41.9	
9	111	47	16.5	26	28	15.0	
10	111	53	33.9	26	31	21.5	
11	111	58	5.7	26	38	6.2	
12	112	0	38.6	26	38	39.5	
13	111	59	42.1	26	40	57.6	
14	111	57	31.3	26	42	29.7	
15	112	0	27.5	26	45	48.8	
16	111	54	43.4	26	51	28.6	DEL 16 AL 17 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
17	111	50	33.0	26	52	55.2	DEL 17 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	111	31	48.0	26	32	26.7	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Bahía Concepción pertenece al Organismo de Cuenca “Península de Baja California” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Baja California Sur”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del “*Acuerdo que establece el Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur, declarando de utilidad pública la construcción de las obras que lo forman*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de julio de 1954. Este decreto es de tipo III, que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El usuario principal es el pecuario. No existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero y acuíferos vecinos se han llevado a cabo diversos estudios geohidrológicos de evaluación. Entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

EVALUACIÓN GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y OLIGOELEMENTOS EN BAHÍA CONCEPCIÓN, B.C.S. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana (Volumen 61, Núm. 1, 2009, p. 57-72). Concluye la presencia de hidrotermalismo en la región, originada por actividad tectónica. Los análisis de las muestras de sedimentos marinos superficiales, del fondo de los arroyos que desembocan en la bahía y de un manantial termal en la playa Santispac revelan la abundancia de carbonato de calcio en los sedimentos.

CENSO DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS EN EL ACUÍFERO BAHÍA CONCEPCIÓN, B.C.S., elaborado por la Subdirección de Asistencia Técnica Operativa, Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur, en 2010. Con la finalidad de medir la profundidad de los niveles estáticos en los pozos existentes y obtener muestras de agua subterránea para determinar la conductividad eléctrica y la salinidad. Sus resultados indican que las concentraciones de STD en el agua subterránea en la zona de San Nicolás sobrepasan los valores permitidos para el agua destinada al consumo humano.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE SAN BRUNO-MULEGÉ-SANTA ROSALÍA, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA, elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., para la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en 1974. Sus objetivos fueron llevar a cabo un reconocimiento hidrogeológico de este acuífero y los aledaños, teniendo como actividades principales el censo de aprovechamientos, reconocimientos geológicos y pruebas de bombeo.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO MULEGÉ, B.C.S., elaborado por CLARIÓN, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1980. Su objetivo principal fue la evaluación hidrogeológica del acuífero mediante el planteamiento de un balance de aguas subterráneas para cuantificar su recarga media anual.

ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS DE SAN JUAN B. LONDÓ Y LORETO, B.C.S., elaborado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua en 2006. Este estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos con el propósito de establecer un diagnóstico de la evolución de los niveles del agua y contar con la información geohidrológica necesaria para determinar la recarga media anual del agua subterránea.

Las actividades realizadas durante este estudio incluyeron el censo de aprovechamientos, pruebas de bombeo, sondeos electromagnéticos y análisis fisicoquímicos a las muestras de agua subterránea.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas del INEGI, el acuífero se encuentra ubicado dentro de la Provincia Península de Baja California, Subprovincia Sierra La Giganta. La Provincia Península de Baja California está ubicada en el noroeste de la República Mexicana y ocupa desde el norte del paralelo 32°, hasta el sur del paralelo 23°; en esta última localización se ubica la región de San José del Cabo, más allá del Trópico de Cáncer.

Dicha provincia se extiende a lo largo de 1333 km, con un rumbo noroeste-sureste. Las cumbres más elevadas se encuentran en las sierras de la porción norte, donde las elevaciones varían entre los 2,000 y 3,000 msnm. La subprovincia Sierra La Giganta forma parte de la cordillera peninsular cuya topografía se caracteriza por presentar elevaciones máximas del orden de 800-1,200 msnm y está conformada por rocas volcánicas en forma de mesetas inclinadas hacia el Océano Pacífico y altas crestas hacia el Golfo de California. Las mesetas están cubiertas por derrames basálticos en las zonas altas, a diferencia de las zonas medias e inferiores donde predominan aglomerados y derrames lávicos.

En general, el tipo de vegetación de mayor distribución es el matorral sarcocaulé, mientras que los suelos existentes son vertisoles.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación y temperatura de las estaciones climatológicas Mulegé, El Rosarito y San Nicolás con periodo de análisis de 30 años (1979-2008); con el apoyo en la carta de climas de Köppen, modificada por E. García y con el mapa de unidades climáticas de INEGI para las condiciones de nuestro país adaptada a la Región Hidrológica 6, se establece que en la zona que cubre el acuífero prevalece el grupo de climas desérticos cálidos BW(h´) de tipo desértico cálido, muy cálido con régimen de lluvias en verano, cuya característica principal es lo extremo de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental, por lo que se considera de tipo caluroso extremo.

Esto se debe a la interacción de diversos factores: latitud, relieve y las corrientes marinas del Golfo de California. En las partes topográficamente bajas el clima es de tipo BW (h´) hw (x´) que se caracteriza por ser muy seco cálido, en las partes de mediana altura se caracteriza por un clima BW hw (x´) muy seco semicálido y en la parte alta de la Sierra predomina el clima BSO kw (x´) seco templado. La temperatura media anual es de **23.1° C**.

La precipitación media anual varía entre 114 a 144 mm, con un promedio de **127.6 mm**, con precipitaciones máximas de hasta 270 mm en el mes de agosto. La temporada de lluvias se presenta en periodos cortos entre los meses de agosto a diciembre.

En lo que respecta al valor de la evaporación potencial media, se obtuvo un valor aproximado de 1,900 mm, de acuerdo con los datos de la estación climatológica de San Nicolás.

La región se caracteriza por presentar periodos prolongados de sequía, que en ocasiones son interrumpidos drásticamente por la incidencia de fenómenos ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes.

3.3 Hidrografía

El acuífero Rosarito pertenece a la Región Hidrológica 6 Baja California Sur-Este (La Paz). Forma parte de la cuenca C correspondiente a la vertiente que drena hacia el Golfo de California, pertenece a la cuenca "Arroyo Frijol-Arroyo San Bruno", que incluye a los acuíferos de toda la porción centro-oeste de BCS, desde Bahía Concepción hasta llegar Cabo San Lucas.

La región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores bajos de precipitación y escasez natural de agua, que ocasionalmente se ven alteradas debido a la presencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos debido a la incidencia de tormentas tropicales y huracanes.

En ambos casos, los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia la planicie costera. Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias.

Existen numerosos arroyos de poca importancia que descienden de la sierra Los Burros, Las Bebelamas y Los Gavilanes como son: San Pedro, San Juan, Cadege, Los Bules, Santa Rosalía, Rosarito, San Nicolás, San Lino, El Coloradito, La Higuera y El León, los cuales desembocan en Bahía Concepción y Golfo de California. En el acuífero no existen estaciones hidrométricas, ni infraestructura hidráulica para el almacenamiento de las corrientes superficiales. En general el patrón de drenaje presenta variaciones relacionadas con la litología y la topográfica; predominan los patrones paralelo y dendrítico.

3.4 Geomorfología

Los rasgos morfológicos denotan un estado geomorfológico de madurez temprana, en la que destacan sierras compuestas de rocas volcánicas erosionadas con desnivel de más de 700 msnm aproximadamente.

De manera particular en el área se distinguen unidades geomorfológicas clasificadas como Montañas Altas, Sierras Bajas, Cañadas, Valles y abanicos aluviales.

Los rasgos fisiográficos y geomorfológicos en la zona oeste de Bahía Concepción presentan condiciones pobres para el desarrollo de un acuífero debido a la presencia de la vertiente oriental de la Sierra La Giganta, con pendientes que sobrepasan los 45°.

En la parte sur del acuífero se presenta un pequeño valle aluvial, lo que permite el desarrollo de un área con características de captación y almacenamiento del agua.

A lo largo de la línea de costa, en la región este de Bahía Concepción, existen una serie de abanicos aluviales que presentan condiciones sedimentológicas para el almacenamiento de agua.

4. GEOLOGÍA

La geología general está representada por rocas de edad Paleógeno-Neógeno de la formación Comondú y la Formación Gloria.

La Formación Comondú está compuesta por rocas volcánicas, piroclásticas y vulcanoclásticas que ocupan las dos terceras partes de la ladera oriental de la Sierra La Giganta, la cual está conformada por más de 1,200 m de espesor de estos sedimentos y que se depositaron sobre las rocas graníticas del batolito peninsular de composición ácida e intermedia.

Así mismo, sobre las laderas de dicha sierra se presentan los depósitos de la Formación Gloria, de granulometría media a gruesa, con poca cubierta vegetal, que funcionan como transmisores de agua hacia los materiales aluviales más recientes localizados sobre los abanicos aluviales, cauce fluvial y valle aluvial donde existe una cobertura vegetal.

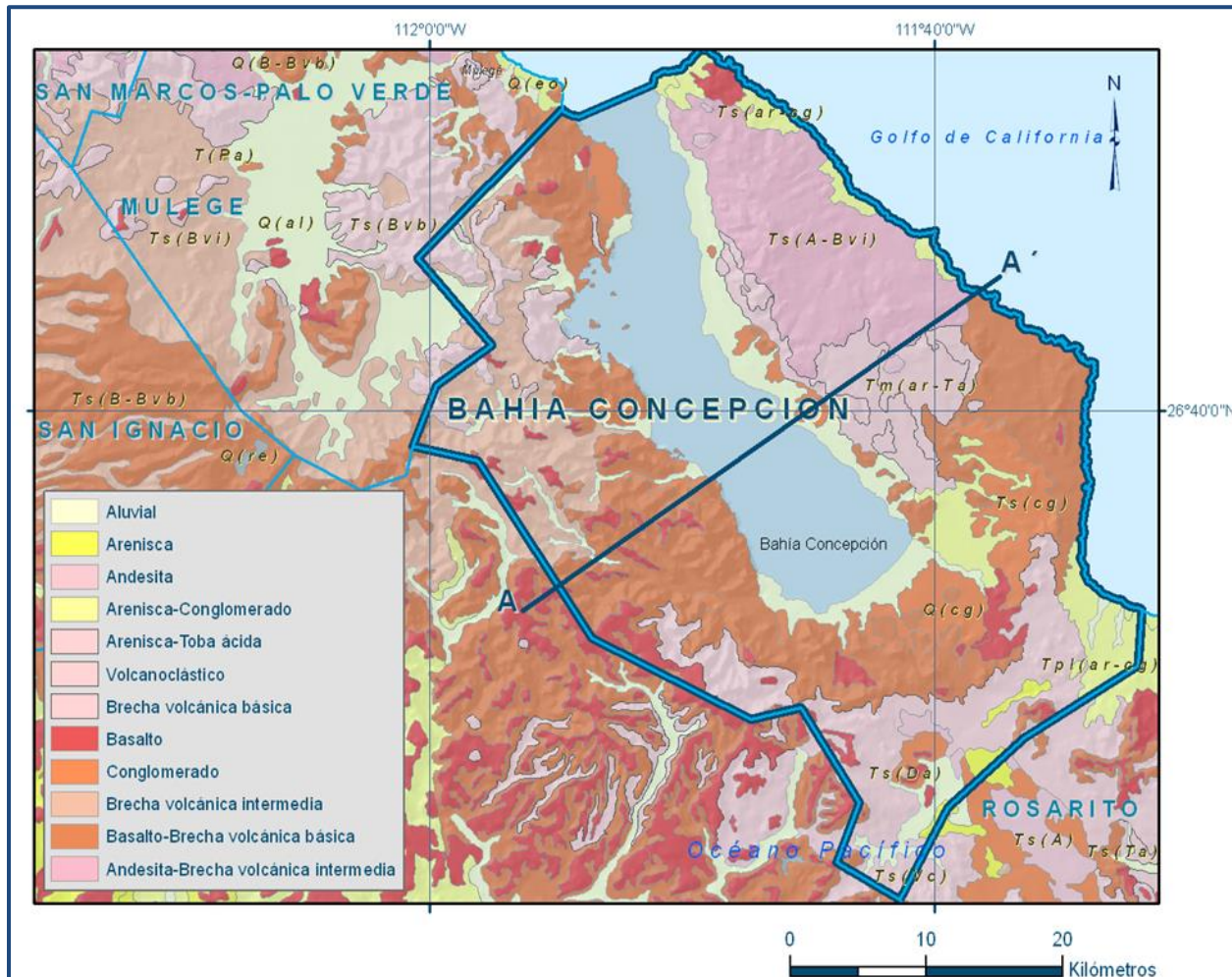


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

El registro estratigráfico de la región abarca del Oligoceno-Mioceno al Reciente. Las unidades se describen a continuación de la más antigua a la más reciente. En la figura 2 se muestra la distribución de las distintas litologías y en la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática.

Formación Comondú

La Formación Comondú aflora formando la Sierra La Giganta cuyo origen se asocia a un arco volcánico del Oligoceno-Mioceno (Heim Arnold, 1922). Está constituida por una alternancia de materiales volcánicos y sedimentarios que incluye areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, andesitas y tobas.

Las areniscas se presentan bien consolidadas y compactas, en tanto que los conglomerados están constituidos por fragmentos redondeados, de origen ígneo, empacados en arenas. Ambas litologías se encuentran complejamente interestratificadas e intrusionadas por diques de composición intermedia y básica.

Las tobas y brechas presentan una composición predominantemente básica. Las brechas están constituidas por una mezcla de fragmentos, empacadas en una matriz tobácea, intrusionadas por diques. Constituye la mayor parte de las elevaciones topográficas que corresponden a la Sierra La Giganta. Presenta una estratificación casi horizontal, con una suave inclinación al poniente.

Su espesor se estima en más de 1,200 m. La Formación fue dividida en dos unidades por Federico Mina (1957). La primera formada por rocas piroclásticas y volcánicas, presenta composición andesítica, basáltica y riolítica, así como conglomerados lenticulares y brechas de talud.

La segunda unidad, que subyace a la anterior, está formada principalmente por conglomerados, areniscas y ocasionales argilitas. Hausback (1984) restringe el nombre de Formación Comondú al arco miocénico representado por rocas volcánicas y vulcanoclásticas que conforman el grueso de la Sierra La Giganta.

En general, esta formación presenta permeabilidad secundaria por fracturamiento y buena calidad del agua al no estar en contacto con las evaporitas de la planicie costera. La distribución de los afloramientos de la Formación Comondú se encuentra cubriendo la totalidad de la zona de las sierras ubicadas dentro del acuífero.

Formación Gloria

La Formación Gloria fue descrita por I. F. Wilson (1948), consiste en un conglomerado basal y capas de areniscas marinas que se adelgazan y acuñan tierra adentro, pero cobran espesor hacia el Golfo de California (Carreño, 1981).

Dentro del área sus principales afloramientos se encuentran expuestos principalmente en la parte sureste del acuífero en la región de San Nicolás y Arroyo Luis, conformado principalmente por areniscas y conglomerados polimícticos.

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios que se encuentran expuestos en la zona están constituidos por terrazas, materiales de acarreo, rellenos aluviales y sedimentos eólicos en la zona cercana a la costa y planicies de inundación (sabkas). Las terrazas están constituidas por materiales arenosos y conglomerados.

Los materiales de acarreo están constituidos por gravas, arenas gruesas y materiales de boleó ubicados en los cauces de los arroyos principales. Los rellenos aluviales están conformados principalmente por arenas, gravas, limos y arcillas, así como las dunas cercanas a la línea de costa.

En la tabla 2, se presentan las principales características hidrogeológicas de las unidades geológicas del acuífero Bahía Concepción (Servicio Geológico Mexicano, 1997).

Tabla 2. Unidades hidrogeológicas

UNIDAD	TIPO DE MATERIAL	LOCALIZACIÓN Y ESTRUCTURA QUE FORMAN	PERMEABILIDAD	FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Q(al)	Arenas, gravas, limos y arcillas.	Cauces de los Arroyos, rellenos aluviales	Muy Permeable	Aunque son muy permeables, por su poco espesor no constituyen acuíferos importantes
Q(eo)	Arenas finas	Localizados sobre la franja costera formando dunas	Buena permeabilidad	Debido a que son escasas, no representan mucha importancia
Q(la)	Salitrales	Forman planicies de inundación (sabkas)	Baja permeabilidad	Línea de costa y desembocaduras de arroyos permiten que el agua se contamine
Q(Cg)	Principalmente conglomerados	Localizados en los márgenes del arroyo y forman algunas terrazas	Buena permeabilidad	Tienen importancia geohidrológica en el acuífero para la captación de agua
T(ar-cg)	Areniscas y conglomerados polimícticos	Esta expuesta principalmente en el sureste del acuífero formando terrazas.	Buena permeabilidad	Tiene características para formar un pequeño acuífero, solo que recibe poca precipitación.
TFC	Rocas vulcanoclásticas y basaltos	Expuesta en toda la parte alta del acuífero formando sierras	Baja permeabilidad	Funciona como zonas de recarga de agua de lluvia recolectada por arroyos hacia la planicie costera, limitan la zona y forman barreras laterales.

Fuente: SGM (1997). Carta geológico-Minera G-12-5 Loreto, escala 1:250,000

4.2 Geología estructural

La historia tectónica del Golfo de California y provincias peninsulares es muy compleja debido al hecho de estar ubicadas sobre una margen continental que ha sido afectada por varios procesos de convergencia y divergencia.

Sin embargo, dos importantes eventos tectónicos regionales están expuestos en el área. Uno corresponde a la Orogenia Laramide (Cretácico Superior), responsable del movimiento compresivo producto del choque de la Placa Farallón con la Placa Norteamericana, lo que dio origen a la intrusión de grandes masas ígneas (parte del Batolito Peninsular), que presentan rasgos producidos por esfuerzos compresivos que generaron una deformación cataclástica dúctil que pudo haber iniciado durante la fase terminal de la Orogenia Laramide, al final del Cretácico y que probablemente se reactivó con los posteriores procesos extensivos.

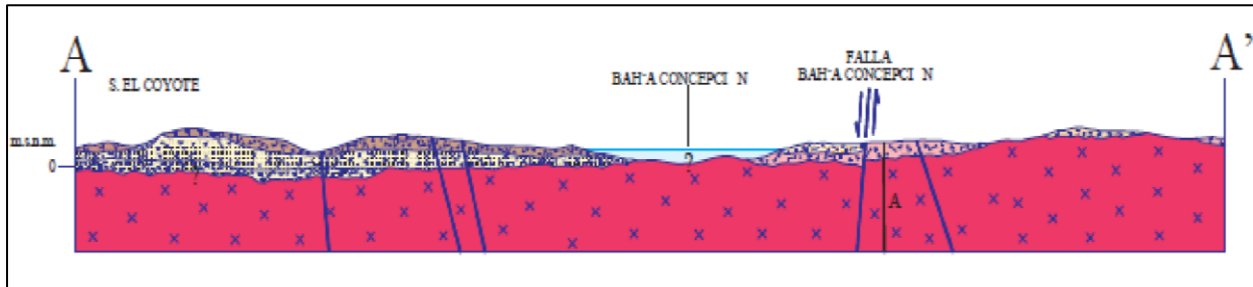
Un segundo evento tectónico se desarrolló del Mioceno Medio al Plioceno Temprano, cuando ocurrió la configuración del límite entre la Placa Pacífica y la Placa Norteamericana, lo que dio origen al Golfo de California, por medio de movimientos oblicuos extensionales con orientación NW-SE, modelando de esta manera un relieve peninsular gobernado por bloques escalonados, con sensible basculamiento hacia el poniente y fallas laterales dextrales.

Dentro del área la geología estructural está representada por una serie de fallas, fracturas y lineamientos con dos rumbos predominantes, uno NW-SE y otro NE-SW. Las fallas más importantes tienen una orientación NW-SE (casi N-S); se presenta en las rocas de la Formación Comondú formando un escarpe muy característico sobre los márgenes de la bahía. Los lineamientos existentes en la zona definen la dirección preferencial de la red de drenaje de algunos arroyos. Estos lineamientos dominan en la Sierra Las Bebelamas y Los Gavilanes (Carta geológico-minera La Paz G12-10-11 Baja California Sur, escala 1:250,000 INEGI, 1999).

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con las evidencias de campo y la información de la geología del subsuelo, es posible definir que el acuífero se aloja en los sedimentos aluviales y fluviales provenientes de la erosión de las partes altas de la Sierra La Giganta, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales y depositados en zonas cercanas a la planicie costera.

Su espesor se desconoce, pero se infiere que puede variar desde algunos metros hasta un espesor de algunas decenas de metros, con capacidad de almacenamiento (figura 3).



Fuente: SGM (1997). Carta geológico-Minera G-12-5 Loreto, escala 1:250,000

Figura 3. Sección geológica esquemática

El acuífero se encuentra bordeado por las rocas volcánicas impermeables de la Formación Comondú, que generalmente funcionan como barreras laterales e inferiores.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que el acuífero es de **tipo libre** y está constituido por sedimentos aluviales y fluviales depositados tanto en los subálveos de los arroyos como en la planicie costera. Algunos aprovechamientos han alcanzado las facies impermeables de la Formación Comondú.

La distribución y composición de estos sedimentos es muy variada y presenta espesores diferentes, de acuerdo con su ubicación. La permeabilidad del acuífero es media a alta, pero el área de exposición y espesor son reducidos.

La recarga que recibe el acuífero procede de la infiltración directa de la lluvia, así como por la infiltración del agua superficial que escurre a través de los arroyos intermitentes, durante las escasas lluvias de temporada.

La descarga se produce de manera natural por flujo subterráneo hacia el mar y por evapotranspiración en zonas que presentan niveles freáticos someros; de manera artificial se efectúa por medio de la extracción que se lleva a cabo por medio de las captaciones.

Aunque el valor de la precipitación media anual es muy bajo (menor a 150 mm), la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos como huracanes, tormentas tropicales, depresiones y lluvias de temporada tienen un efecto muy importante sobre la recarga del acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

En la superficie que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para determinar las características hidráulicas del acuífero. Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Mulegé y San Juan B. Londó, con características litológicas y evolución geológica similar, es posible adoptar valores característicos de transmisividad.

De esta manera, los valores promedio de transmisividad, adaptados a la geología y espesor saturado, pueden variar entre **0.5×10^{-3} a $3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , aunque hacia los cauces de los arroyos se pueden incrementar debido a la mayor granulometría de los depósitos.

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, sólo se dispone de la información para 2010 recabada por la Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de la profundidad al nivel estático para el 2010 (figura 4) muestra valores someros que varían de 1 a 20 m para los aprovechamientos que se localizan a lo largo de los cauces de los arroyos principales dentro del acuífero y en la planicie costera.

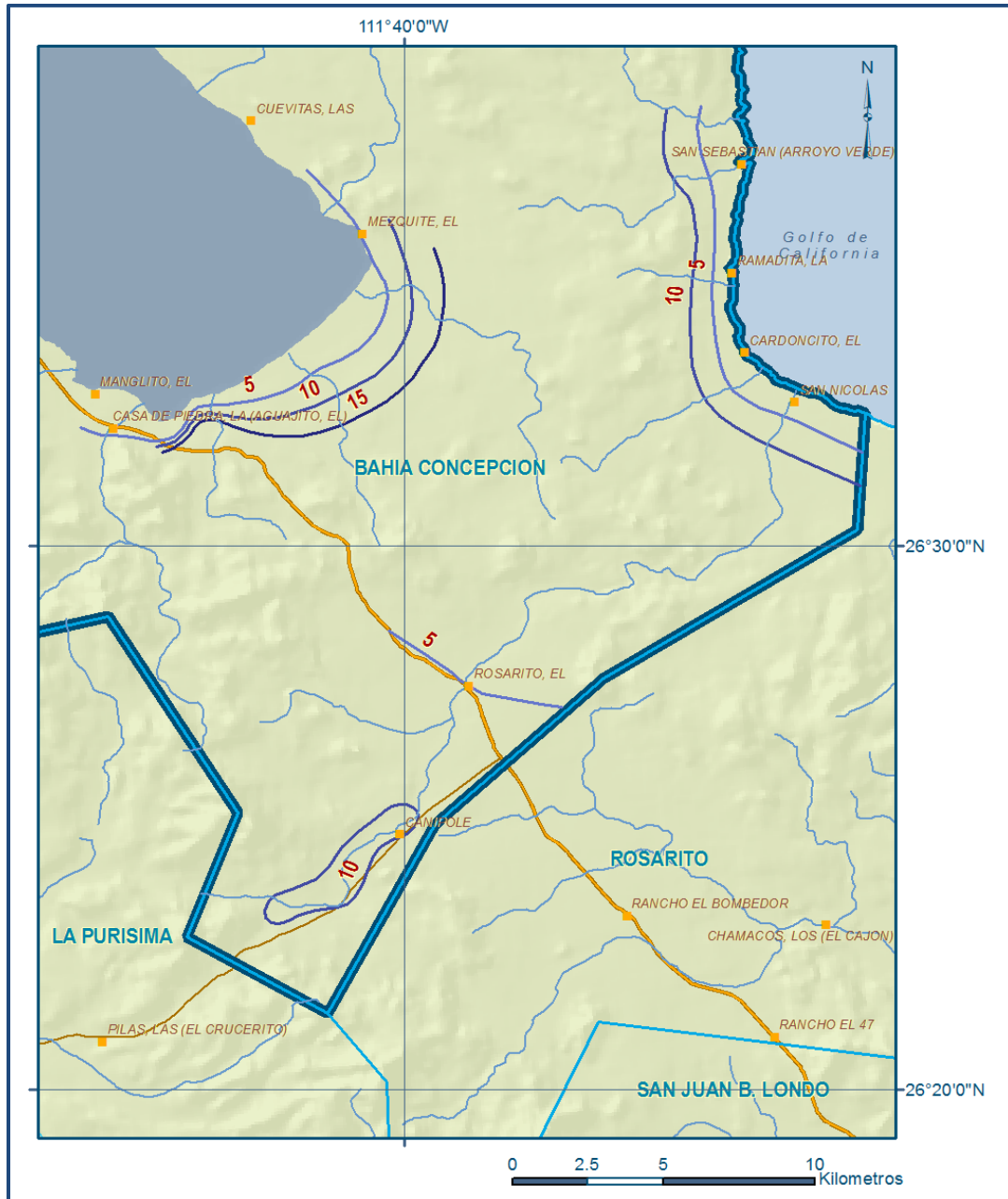


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático para el 2010, mostrada en la figura 5, los valores varían de poco menos de 1 hasta más de 230 msnm, por efecto de la topografía, desde las zonas cercanas a la costa hacia la zona topográficamente más alta, evidenciando que el flujo subterráneo se encuentra en condiciones naturales.

De esta manera, se puede identificar el flujo subterráneo muestra dos posibles trayectorias principales; una trayectoria con dirección casi sur-norte paralela a los arroyos Los Bules y Santa Rosalita desembocando dentro de Bahía Concepción y la otra trayectoria con dirección suroeste-noreste a lo largo del arroyo San Nicolás, hacia el Golfo de California.

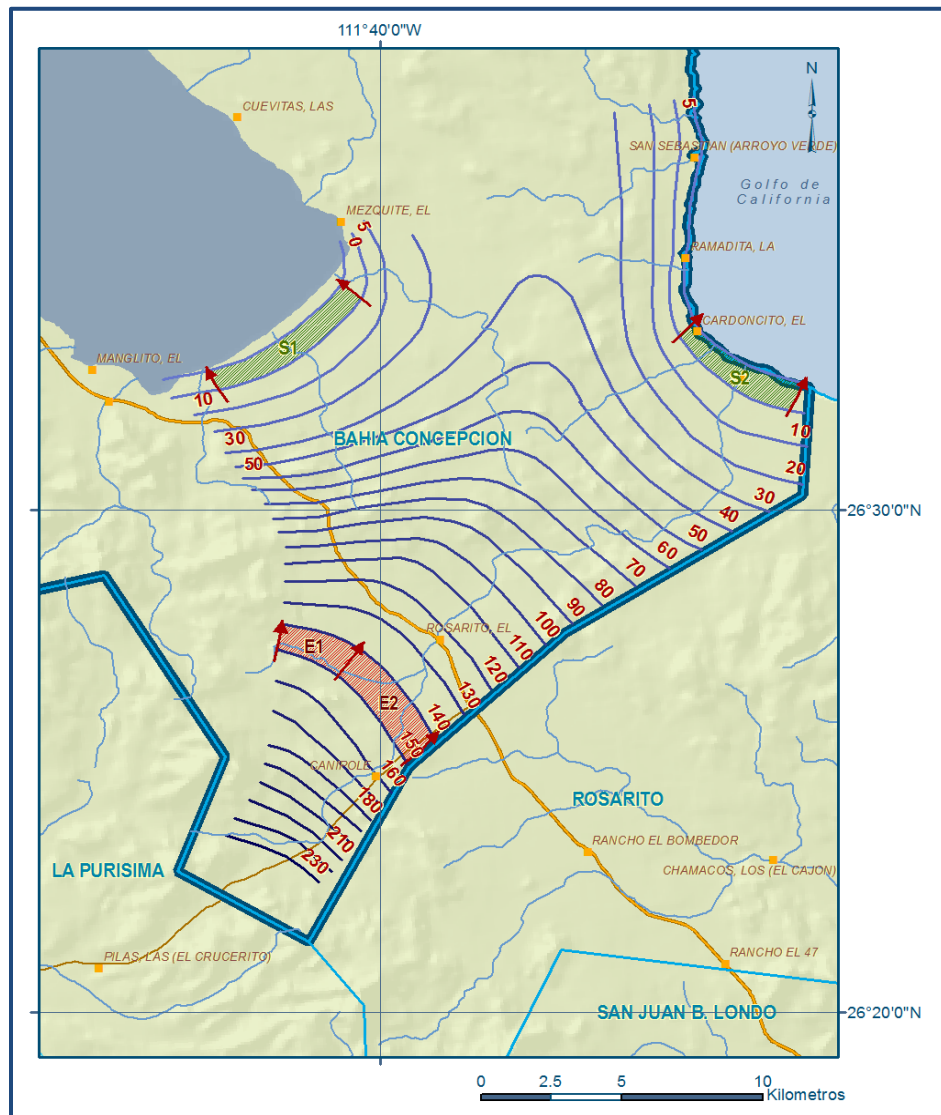


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010).

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas se encuentran dispersas y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Por estas razones, se puede afirmar que los niveles 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

En el área que cubre el acuífero no existen antecedentes de muestreos de agua subterránea para análisis químico, la única información que se tiene es la realizada en este año 2010 por la Dirección Local de la CONAGUA en Baja California Sur. Como parte de los trabajos de campo realizados en el presente año, se tomaron 13 muestras de agua para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las mediciones hechas en laboratorio incluyeron; conductividad eléctrica, pH, dureza total, alcalinidad 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 Totales Disueltos (STD) en su mayoría sobrepasan el valor máximo permisible de 1,000 mg/lit establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. Los valores varían de 591 ppm, en el predio Canipole, ubicado en zona serrana sobre la margen del arroyo El Rosario, 5,340 ppm que se registraron en la localidad de San Lino, localizado en margen este del acuífero.

De manera general, las concentraciones se incrementan de la parte alta del acuífero hacia la costa, en la dirección del flujo subterráneo. Las concentraciones más altas se deben a la influencia de la zona costera.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el 2010, se registraron un total de 25 aprovechamientos, de los cuales 20 están activos y los 5 restantes inactivos.

Los aprovechamientos activos se destinan principalmente para uso pecuario y doméstico. En conjunto el volumen de extracción asciende a **0.08 $\approx$ 0.1 hm³ anuales**, de los cuales el 75% se destinan al uso pecuario-doméstico y el 25% restante para servicios de la comunidad San Nicolás.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

El balance de aguas subterráneas, que se planteó para el año 2010 en pequeñas porciones de la región sur y este del acuífero, cubre una superficie aproximada de 92 km² de la zona en la que están dispersos los aprovechamientos. De esta manera la ecuación de balance propuesta para este acuífero es la siguiente:

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

Donde:

R_v= Recarga vertical;

E_h= Entradas subterráneas por flujo horizontal;

B= Bombeo;

S_h= Salidas subterráneas por flujo horizontal;

ETR= Evapotranspiración;

ΔV(S)= Cambio en el volumen almacenado;

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en los sedimentos arenosos de las formaciones que la constituyen y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otras fuentes 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, no existe recarga inducida. Por lo que **$R_i = 0$** .

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

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 (1).

De esta manera, despejando la recarga vertical se obtiene:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

La recarga del acuífero tiene su origen por la precipitación sobre las zonas topográficamente más altas del área y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra a través de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan las zonas de explotación.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

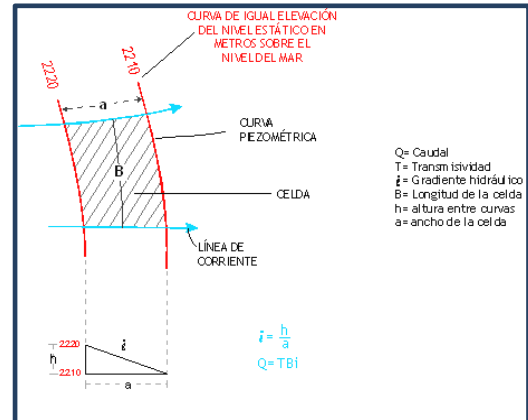
Donde:

Q = Gasto;

T = Transmisividad;

B = Longitud de la celda;

i = Gradiente hidráulico;



Con base en la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5) se seleccionaron las celdas de entrada de flujo subterráneo de acuerdo a la geología. El caudal de entrada por flujo subterráneo horizontal calculado para este año se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2010)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente Hidráulico i	T (m ² /s)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
E1	2460	1010	10	0.009901	0.002	0.048713	1.5
E2	4210	1180	10	0.008475	0.003	0.107034	3.4
Total de entradas =							4.9

Los valores de T utilizados para calcular entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos en los acuíferos vecinos Mulegé y San Juan B. Londó, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas. La entrada subterránea promedio anual es igual a **4.9 hm³/año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por salidas horizontales (Sh), a través de evapotranspiración directa en las zonas de niveles freáticos someros (ETR) y por Bombeo (B). No existen manantiales.

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **0.1 hm³ anuales**.

7.2.2 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 del año 2010 mostrada en la figura 5.

Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar, en la porción este hacia el Golfo de California y en el extremo oeste hacia Bahía Concepción. El valor estimado para cada año de análisis se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de salidas por flujo subterráneo para el año 2010

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	$h_2 - h_1$ (m)	Gradiente Hidráulico i	T (m^2/s)	Caudal Q (m^3/s)	Volumen ($hm^3/año$)
S1	5600	960	5	0.005208	0.003	0.0875	2.8
S2	4420	1000	5	0.005	0.003	0.0663	2.1
Total de salidas =							4.9

El valor de las salidas subterráneas es de **4.9 $hm^3/año$** .

7.2.3 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.

Aunque el valor de la evapotranspiración se estima que es pequeño en este acuífero, dada la escasez natural del agua, se consideró importante estimar su valor para incluirlo en la recarga total que recibe el acuífero.

Para la obtención de este parámetro se puede utilizar la ecuación empírica de Turc, que se muestra a continuación:

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

T (°C) =	23.1		
P(mm) =	127.6	P ² =	16281.76
L =	1493.81955	L ² =	2231496.85
ETR (mm)	134.0		

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc es que la precipitación no debe ser menor a la relación $0.31L$. Entonces debido a que la precipitación resultó menor que la relación $0.31L = 463.08$, el valor de la evapotranspiración real debe despreciarse, ya que su valor resulta mayor valor de la precipitación. El fenómeno presente en el área es la evaporación directa del agua freática somera, debido a la ausencia de cobertura vegetal. Para la observación del comportamiento del fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973). Figura 6.

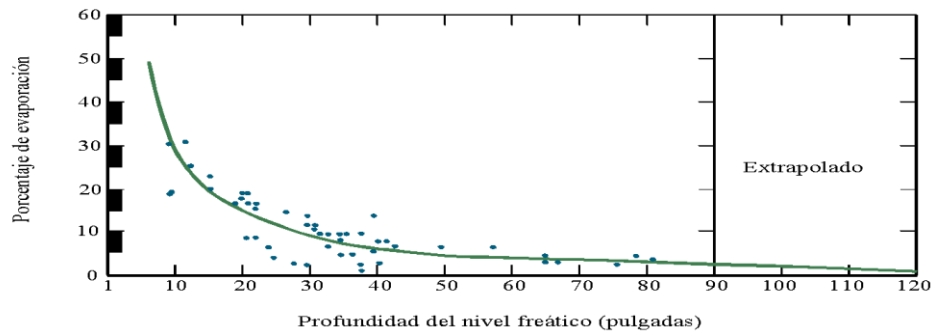


Figura 6. Evaporación del AS expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White

De esta manera, la estimación del valor de la evaporación se calculó multiplicando el área donde tiene lugar el fenómeno (profundidad al NE menor a 3 m, dentro del área de balance) por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial media en la estación climatológica de San Nicolás obtenido como promedio aproximado del valor registrado aproximado de 1,900 mm.

El valor de esa fracción varía entre un máximo de uno, cuando el nivel freático aflora, y cero cuando éste se halla a profundidades mayores a la altura de la franja capilar de los materiales predominantes entre la superficie del terreno y el nivel freático.

De la figura 6 se deduce que para una profundidad al NE de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%. Considerando una superficie promedio de 18.1 km² de la porción costera del acuífero, donde la PNE es menor a los 2 m, y un 2% de la evaporación potencial, se tiene que la evaporación es de **0.7 hm³**.

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 necesaria para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes solo son para el presente año y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo ni conos de abatimiento. Bajo estas consideraciones, 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, para fines del balance **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución de la ecuación de balance

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

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

$$R_v = 0.1 + 4.9 + 0.7 - 0.0 - 4.9$$

$$R_v = 0.8 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 0.8 + 4.9$$

$$R = 5.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} & = & \text{RECARGA} & - & \text{DESCARGA} & - & \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} & & \text{TOTAL} & & \text{NATURAL} & & \text{AGUAS} \\ \text{SUBSUELO EN UN} & & \text{MEDIA} & & \text{COMPROMETIDA} & & \text{SUBTERRÁNEAS} \\ \text{ACUÍFERO} & & \text{ANUAL} & & & & \end{array}$$

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **5.7 hm³/año**.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Bahía Concepción se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **4.9 hm³ anuales**, que corresponden a la salida por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interface marina. No se considera comprometida la descarga por evaporación porque se trata de agua de mala calidad, que no está sujeta al otorgamiento de concesiones.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **78,129 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 5.7 - 4.9 - 0.078129 \\ \text{DMA} &= 0.721871 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **721,871 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e 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, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2006. Actualización Geohidrológica de los Acuíferos San Juan B. Londó y Loreto, B.C.S.

Secretaría de Recursos hidráulicos (SRH) 1974. "Informe Final del Estudio Geohidrológico del Valle de San Bruno, Mulegé y Santa Rosalía, Territorio de Baja California". Realizado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. (Tomo I y II).