

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CABO PULMO (0318), 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.....	5
3.1 Provincia fisiográfica	5
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía	9
4.2 Geología estructural	11
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.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	21
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	22
7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	22
7.1 Entradas.....	23
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	24
7.2 Salidas	25
7.2.1 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	25
7.2.2 Evapotranspiración (ETR).....	26
7.2.3 Bombeo (B).....	28
7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	29
8. DISPONIBILIDAD	29
8.1 Recarga total media anual (R).....	30
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	30
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	30
8.4 Media anual de agua subterránea (DMA).....	31
9. BIBLIOGRAFÍA	32

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 Cabo Pulmo, definido con la clave 0318 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción suroriental del estado de Baja California Sur, en el límite con el Golfo de Baja California y el Océano Pacífico, entre los paralelos 23° 00' y 23° 35' latitud norte y los meridianos 109° 20' y 109° 40' longitud oeste, abarcando una superficie de 627 km². Limita al norte con el mar de Cortés y Golfo de California, al este con el Océano Pacífico, al oeste con los acuíferos de Santiago y San José del Cabo, pertenecientes al estado de Baja California Sur y al sur con el Océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente la porción del acuífero comprende la parte oriental del municipio de Los Cabos.

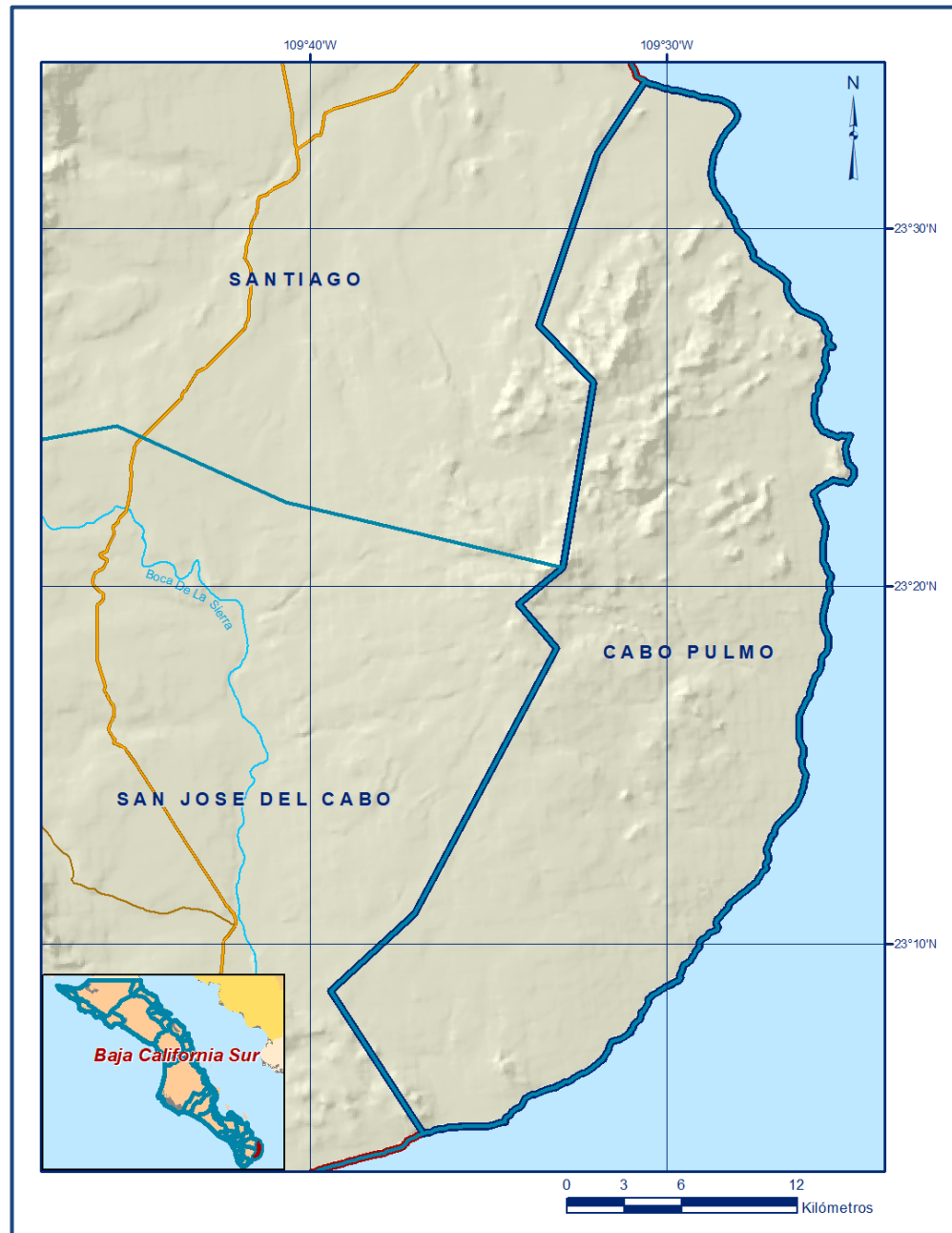


Figura 1. Localización del acuífero

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 0318 CABO PULMO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	109	30	37.3	23	34	6.9	DEL IAL 2 POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	109	36	50.1	23	4	42.2	
3	109	39	25.9	23	8	411	
4	109	37	5.7	23	10	50.3	
5	109	33	5.6	23	18	15.7	
6	109	34	10.2	23	19	30.0	
7	109	32	55.9	23	20	310	
8	109	32	3.6	23	25	410	
9	109	33	35.6	23	27	17.3	
10	109	31	57.9	23	32	5.2	
1	109	30	37.3	23	34	6.9	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero, pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Baja California Sur. Su territorio 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 y por el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región meridional del Territorio Sur de Baja California” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de julio de 1954. Ambos decretos son de tipo III que permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos de Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica en zona de disponibilidad 1. El uso principal del agua subterránea es el Pecuario. En el acuífero no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero sólo se ha realizado un estudio hidrogeológico de evaluación, además de otros en las cercanías del mismo. A continuación se describen los objetivos de los estudios más importantes:

ESTUDIO GEOFÍSICO DE LAS ZONAS DE LA PAZ, CARRIZAL, ARROYO SAN JOSÉ DEL CABO Y SANTIAGO, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Realizado

para la Secretaría de Recursos Hidráulicos en 1971 por la empresa GEOFIMEX S.A.

El objetivo de este estudio fue el de la definición de la configuración del basamento en los diferentes valles, localización de los niveles de acuíferos salados e información sobre las estructuras de los terrenos permeables o impermeables del subsuelo.

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE CABO PULMO, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1983 por la empresa InGeo S.C.

El propósito de este estudio consistió en conocer las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos existentes en la región, determinar las zonas más favorables para la perforación de los pozos de exploración y en su caso de explotación, además de la elaboración de censos de aprovechamiento hidráulicos existentes en el sitio.

ESTUDIO PARA DETERMINAR DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS LA PURÍSIMA, MEZQUITAL SECO, CABO SAN LUCAS, CABO PULMO, SAN BARTOLO, SANTA ÁGUEDA Y SANTA ROSALÍA, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Realizado en el año 2010 mediante convenio con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Este estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos mediante el diagnóstico el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, para contar con información necesaria que permita calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual.

Estos estudios fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus resultados y conclusiones se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas para la República Mexicana, realizada por Raisz (1964), el área se encuentra comprendida dentro de la Provincia Fisiográfica Baja California, Subprovincia Altiplanicie Meridional. En la actualidad también se le conoce como Discontinuidad del Cabo.

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 o Discontinuidad Del Cabo.

La provincia de Baja California se extiende por los dos estados que conforman la península, presenta un núcleo de granito que aflora en el norte y en la porción sur se presenta a profundidades mayores debajo de materiales volcánicos.

En la porción de Baja California Sur, la Sierra de la Giganta completa la cordillera peninsular que conforma el eje principal de la provincia.

Son tres las regiones geológicas las que conforman la parte peninsular de Baja California Sur, la primera de ellas se desarrolla en el área que comprende la península de Vizcaíno y las islas Cedros y Margarita donde afloran rocas sedimentarias y metasedimentarias de edad cretácica.

Al oriente de esta región y al noroeste de la ciudad de La Paz, la península está parcialmente cubierta por rocas volcánicas y volcanoclásticas del Oligoceno-Mioceno y por rocas sedimentarias marinas del Plioceno.

Por último, en la región ubicada al sur de La Paz, los afloramientos están dominados por rocas graníticas de edad mesozoica. A los flancos de este batolito existen rocas cristalinas, metasedimentos y paragneises, que constituyen el basamento en el que fueron emplazados los plutones graníticos.

Las cumbres más elevadas se encuentran en las sierras de la porción norte, donde las elevaciones varían entre los 2000 y 3000 msnm.

3.2 Clima

El acuífero Cabo Pulmo no presenta estación climatológica, por lo que se utilizaron datos de las estaciones de Santiago y San José del Cabo en un periodo de análisis de 23 años desde 1980 hasta 2003, por la similitud de condiciones climatológicas y de régimen de lluvias, así también, con apoyo en la carta de climas de Köppen, modificada por Enriqueta García para nuestro país y la clasificación climática del INEGI.

En casi toda la superficie del acuífero prevalece el tipo de clima BW(h')w, desértico caracterizado con temperaturas muy altas en el día y con sequías extremas a lo largo del año, interrumpidas solamente por la presencia de huracanes o tormentas tropicales.

El clima que prevalece en la región central del acuífero es del tipo muy árido y semicálido (BWhw), con temperaturas que oscilan entre los 18°C y 22°C, y régimen de lluvias veraniegas que llegan a máximos de 450 mm en promedio, presentando máximos de 620 mm mensuales.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de tres estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Las Barrancas, Boca del Salado y San José del Cabo, cuyo registro comprende los periodos 1970-2007, 1961-2007 y 1926 a 2007 respectivamente. Se tomaron para cada una de ellas los promedios considerando las respectivas áreas de balance, se determinaron valores promedio anuales de precipitación de 254.3, 225.5 y 211.44mm para en cada estación y temperatura 23.3, 23.4 y 23.7 °C respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de 1968 mm anuales según la información de la estación de San José del Cabo.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No 6, Baja California Sureste, en la cuenca de “La Paz–Cabo San Lucas” y forma parte de la subcuenca “Boca del Salado-Las Barracas”.

Las condiciones geográficas de la región así como el régimen de lluvias y las temperaturas predominantes, generan una escasez de agua tanto por precipitación como por almacenamiento. Debido al clima desértico, los escurrimientos existentes en la zona son de tipo intermitente en su totalidad, dentro de ellos destacan en la zona norte el Arroyo San Antonio, Arroyo Los Tesos, Arroyo Miramar y Arroyo Los mangles; en la zona centro se ubican el Arroyo Boca del Salado, Arroyo la Ardilla y Arroyo La Palmilla y Arroyo Palo Escopeta, mientras que en la zona sur del acuífero, se encuentra el Arroyo La Laguna.

En la zona no se encuentran estaciones climáticas, hidrométricas ni se cuenta con infraestructura de captación o almacenamiento de las aguas superficiales.

3.4 Geomorfología

La morfología de la zona consta de sierras bajas con elevaciones que alcanzan los 500 m hacia el centro-orienté del acuífero y que favorecen las extensiones de valles aluviales, abanicos aluviales y planicie costera. Son cinco los arroyos principales que descargan las aguas hacia el Golfo de California, el arroyo San Antonio, el arroyo Boca del Salado, el Arroyo La Palmilla, el Arroyo Palo Escopeta y el Arroyo La Laguna que desemboca al cuerpo de agua del mismo nombre, que se desarrolla por la excedencia de lluvias en temporada de huracanes o tormentas tropicales. El drenaje se forma por la integración de los arroyos que confluyen a uno sólo que conduce las aguas hacia las costas.

4. GEOLOGÍA

De acuerdo con la Carta Geológico-Minera “Cabo Pulmo” F12-B35 del Servicio Geológico Mexicano, la columna geológica de la zona está constituida por rocas ígneas intrusivas, metamórficas, areniscas y conglomerados, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Mesozoico (Cretácico) al Cenozoico (Cuaternario), la distribución de las diferentes unidades litológica se muestran en la figura 2.

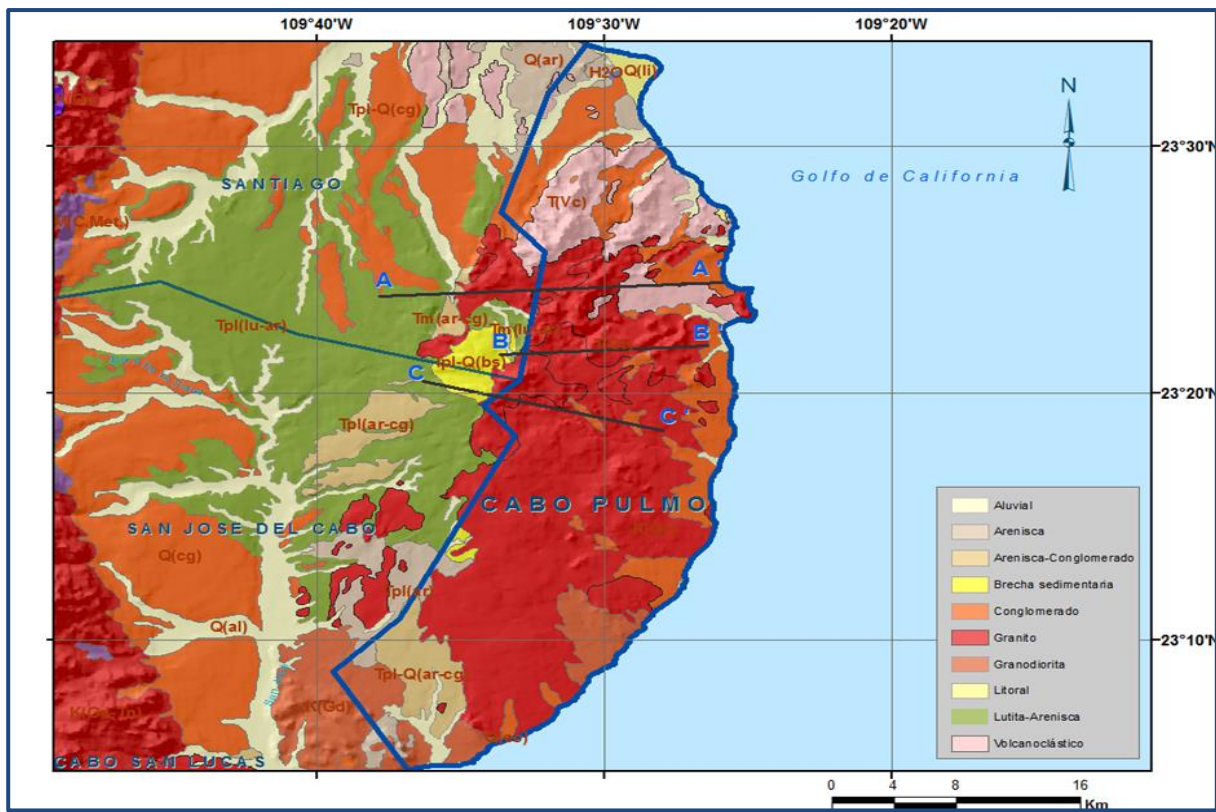


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Las unidades que se encuentran dentro de la zona datan del Cretácico Inferior al Holoceno. La primera unidad forma el basamento del acuífero y es de composición granítica; otra unidad está representada por sedimentos depositados sobre los principales arroyos y valles, por último se encuentra la unidad de sedimentos eólicos y litorales, a continuación se indican las características.

Dioritas del Cretácico Inferior (KiD). Con este nombre se designa a la secuencia de rocas de composición diorítica que se encuentran aflorando en una pequeña porción de la zona suroriental. Las dioritas son de un color verdoso, presentan una textura holocristalina, se componen de abundantes cristales de plagioclasas y hornblenda como mineral accesorio.

Por otra parte, estas rocas presentan una estructura compacta y masiva, sin embargo en las inmediaciones de las zonas de falla llegan a encontrarse bastante fracturadas. Se encuentran intrusionadas a las rocas graníticas del Cretácico Superior, en tanto que su relación con las rocas más antiguas no se observa.

Granito del Cretácico Superior (KsGr). Con este nombre se designa a la secuencia de rocas de composición granítica que se encuentran aflorando desde el extremo meridional hasta el extremo centro occidental del área del acuífero.

Las rocas son de color rosa con manchas oscuras, presenta una textura holocristalina, con cristales de cuarzo, feldespatos (que le dan el color rosa a la roca) y hornblenda y biotita como minerales accesorios; la roca presenta una estructura compacta y masiva, sin embargo en las inmediaciones de las zonas de falla, presentan un fracturamiento de moderado a intenso.

Neógeno

Dacitas (TmDa), Riolitas (TmR) y Riodacitas (TmRd). Se designa con este nombre a las secuencias de intrusivos hipabisales que varían de composición Riolítica a Dacítica, mismas que se localizan en pequeños afloramientos distribuidos de manera aislada en toda el área del acuífero.

Las rocas varían de color rosado a grisáceo con algunas manchas oscuras, presentan una textura porfídica con cristales de plagioclasas, feldespatos (que le dan las tonalidades rosadas) y con minerales accesorios como biotita. La estructura que presentan las rocas es masiva.

En el Mioceno Superior y hasta el Plioceno temprano se depositó discordantemente la Formación Trinidad (TmplAr-Lm), constituida por intercalaciones de arenisca, limolita y lutita en estratos delgados originados por una secuencia transgresiva de ambientes marinos.

Mioceno Superior y Plioceno Temprano

Formación la Trinidad (TmplAr-Lu). Nombre propuesto por Alor-Bravo 1966, asignado a una secuencia de areniscas y lutitas localizadas en la región septentrional del área de estudio. Consiste en una secuencia transgresiva de ambientes marinos poco profundos compuesta de intercalaciones de areniscas, lutitas y algunos estratos de limolita con una matriz principalmente cuarcífera de colores grisáceos, se encuentran subyaciendo discordantemente a las dacitas miocénicas. Se le ha asignado a esta formación una edad del Mioceno Superior.

Formación El Refugio (TmplAr-Cq). Nombre asignado a una secuencia de estratos de arenas intercalados con estratos coquinosos, localizada en el sector meridional y en pequeños afloramientos de la región septentrional de la superficie del acuífero. Consiste en una secuencia regresiva de composición arenosa con algunos cristales de cuarzo y conchas de moluscos con coloraciones pardas que se encuentran subyaciendo a las rocas de la Formación Trinidad. Se le ha asignado una edad del Mioceno-Plioceno. Esta secuencia de estratos es correlacionable con las rocas del Cuaternario Pleistoceno debido a sus características litológicas comunes. Dicha secuencia se localiza en pequeños afloramientos en la región centro del área. Sólo se diferencia de las rocas de la Formación El Refugio a través de su contenido de conchas de moluscos.

Plioceno Superior

Formación los Barriles (Tpl(?)QptCgp-Ar). Constituida por conglomerado polimíctico semiconsolidado y mal clasificado, con intercalaciones de arenisca y horizontes de limolita depositadas en un ambiente continental; aflora principalmente en la en la parte centro-oeste del área.

Pleistoceno

Formación el Chorro (QptCgp-Ar). Consiste de una intercalación de conglomerado polimíctico y arenisca depositados en un ambiente típico de abanico aluvial; de la misma edad afloran terrazas marinas constituidas por intercalación de arenisca limosa con abundante fauna marina costera y coquinas arenosas semicompactas (QptAr-Cq).

A fines del Pleistoceno, se depositaron discordantemente terrazas aluviales integradas por arenisca y conglomerado polimíctico, cuyos clastos alcanzan hasta 0.3 m de diámetro.

Cuaternario

En el Holoceno, se depositan sedimentos de un rango granulométrico muy amplio de no consolidados a consolidados y mal clasificados, constituidos por arena y limo (Qhoar-Im), aluvión (Qhoal), depósitos eólicos (Qhoeo) y litorales (Qholi).

Sedimentos del Litoral (Qholi). Esta unidad se encuentra aflorando en el litoral. Está constituida por sedimentos de ambiente mixto que son depositados como producto del oleaje efectuado por el mar.

Sobreyace de forma discordante al cuerpo intrusivo del Cretácico superior. La edad correspondiente de esta unidad es del holoceno, siendo contemporáneo al aluvión.

4.2 Geología estructural

El área del acuífero ha sido afectada por esfuerzos de tipo distensivo y transtensivo, derivados de la apertura del Golfo de California, en donde este tipo de esfuerzos generó un patrón de lineamientos asociados con fallas normales que presentan dos orientaciones preferenciales, un sentido NW-SE y la otra de NE-SW; mismas que han producido estructuras asociadas con un pilar y semifusas, principalmente hablando la Fosa de San José.

El fracturamiento de carácter secundario se presenta en dos direcciones preferenciales una NW-SE y otra NE-SW, localizadas de manera general en la zona norte del acuífero, estas fracturas secundarias son originadas por el emplazamiento de algunos intrusivos pertenecientes al distrito minero La Trinidad.

Es probable que estos lineamientos puedan configurar zonas con un comportamiento hidrogeológico de barrera-conducto.

4.3 Geología del subsuelo

Las evidencias geológicas muestran que el área está formada por un marco geológico impermeable, constituido por unidades con diferentes características de permeabilidad. Las rocas graníticas se encuentran distribuidas tanto en superficie como en el subsuelo a lo largo de la sección, afectadas por algunas fracturas secundarias con dirección NE-SW.

Los sedimentos aluviales y litorales cubren discordantemente a las rocas graníticas y se localizan en dirección al este del acuífero, presentan espesores de 10 a 20 m. Con apoyo en sus expresiones topográficas, acomodo estratigráfico y efectos estructurales, las unidades consideradas como permeables actúan como acuíferos o zonas de recarga; las unidades impermeables en cambio sirven como barrera al flujo del agua subterránea.

Depósitos de arenas y gravas

A esta unidad corresponden los sedimentos fluviales compuestos de arenas y gravas sin consolidar ni cementar, que constituyen los antiguos depósitos aluviales del Pleistoceno y cuyo espesor puede ser mayor a los 100 metros.

UNIDADES PERMEABLES

Depósitos de relleno aluvial

Esta unidad incluye a los depósitos de arenas y gravas con detritos de rocas ígneas y areno-arcillosas derivadas del retrabajamiento de los depósitos del Pleistoceno y como relleno de los valles intermontanos.

Depósitos eólicos

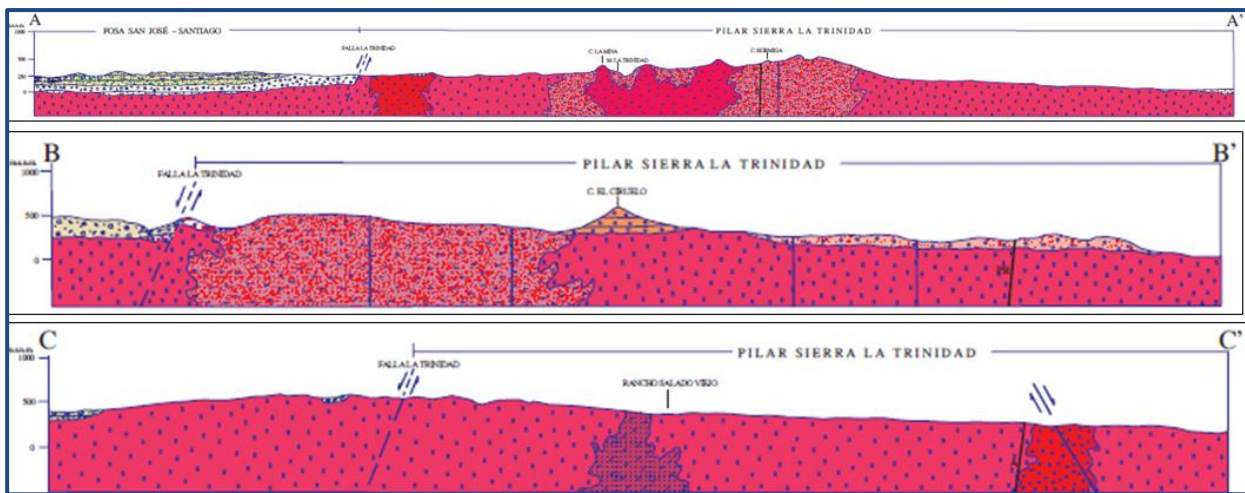
En esta unidad compuesta de arena de grano medio a fino, que forman dunas cercanas a la línea de costa, se localizan algunas norias de escasa profundidad, dando lugar a la formación de un manantial en su contacto con las rocas cristalinas, ambos de gastos reducidos pero aprovechables casi todo el año para diferentes usos. Se considera que actúa más bien como transmisora de agua a las unidades permeables sobre las que descansa.

Depósitos lacustres

Esta unidad se encuentra formada en capas delgadas de arcillas y arenas depositadas en lagunas marginales, con afloramientos restringidos al noreste del área.

Depósitos litorales

La unidad de referencia se encuentra reducida a las delgadas zonas de playa comprendida entre la alta y baja marea y formada por arenas de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca, retrabajados por las olas del mar.



Fuente: Carta Geológica-Minera F12-B35 "Cabo Pulmo" Esc. 1:50 000 (SGM, 2003)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Con base en la descripción previa de las unidades hidrogeológicas establece que los medios poroso y fracturado constituyen un acuífero de **tipo libre** heterogéneo (en los sentidos horizontal y vertical).

En el área de los abanicos aluviales, el medio poroso sobreyace al medio fracturado, y en las partes elevadas topográficamente, el medio fracturado se encuentra directamente en la superficie. Con apoyo en sus expresiones topográficas, acomodo estratigráfico y efectos estructurales, en el área de estudio se exponen nueve unidades litológicas, las unidades consideradas como permeables actúan como acuíferos o zonas de recarga; las unidades impermeables en cambio sirven como de barrera al flujo del agua subterránea.

La distribución y composición de estos sedimentos es muy variada y presenta espesores diferentes, de acuerdo con su ubicación.

La permeabilidad de los materiales es media a alta; sin embargo la precipitación en la zona es muy baja en la zona.

La zona de recarga se origina en las sierras que lo limitan así como las regiones a pie de monte, 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 la época de lluvias.

La descarga se produce de manera natural por flujo subterráneo hacia el mar y por evapotranspiración.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se ejecutaron 5 pruebas de bombeo de corta duración en etapa de abatimiento y recuperación.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de **0.016203 a $19.6759 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , con un valor promedio de **$5.7903 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en tanto que los valores de conductividad hidráulica varían de **8×10^{-7} a $9.8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** con un valor promedio de **$2.9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$** .

Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, para la configuración de sus niveles estáticos se realizó el registro piezométrico para el año 2010, a través de puntos de observación tales como pozos y norias, mediante medidas simultáneas e instantáneas con una precisión en cm, con una distribución y cobertura total de la zona de explotación.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de la profundidad al nivel estático mostrada en las figuras 4a, 4b, 4c, 4d y 4e, presentan valores que varían desde algunos metros, a lo largo de arroyos y en la planicie costera hasta los 38 m, aumentado gradualmente de la zona costera hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, conforme se asciende topográficamente.

Los valores más someros se ubican en la zona Boca de Las Palmas, en tanto que los más profundos se encuentran en la zona Los Tesos.

En la figura 4a, 4b, 4c y 4d, se muestran las configuraciones de la profundidad del agua subterránea, correspondientes para las zonas de explotación Los Tesos, Las Barrancas, Cabo Pulmo, Los Frailes, Boca del Salado, Palo Parado y Laguna del Zacatito.

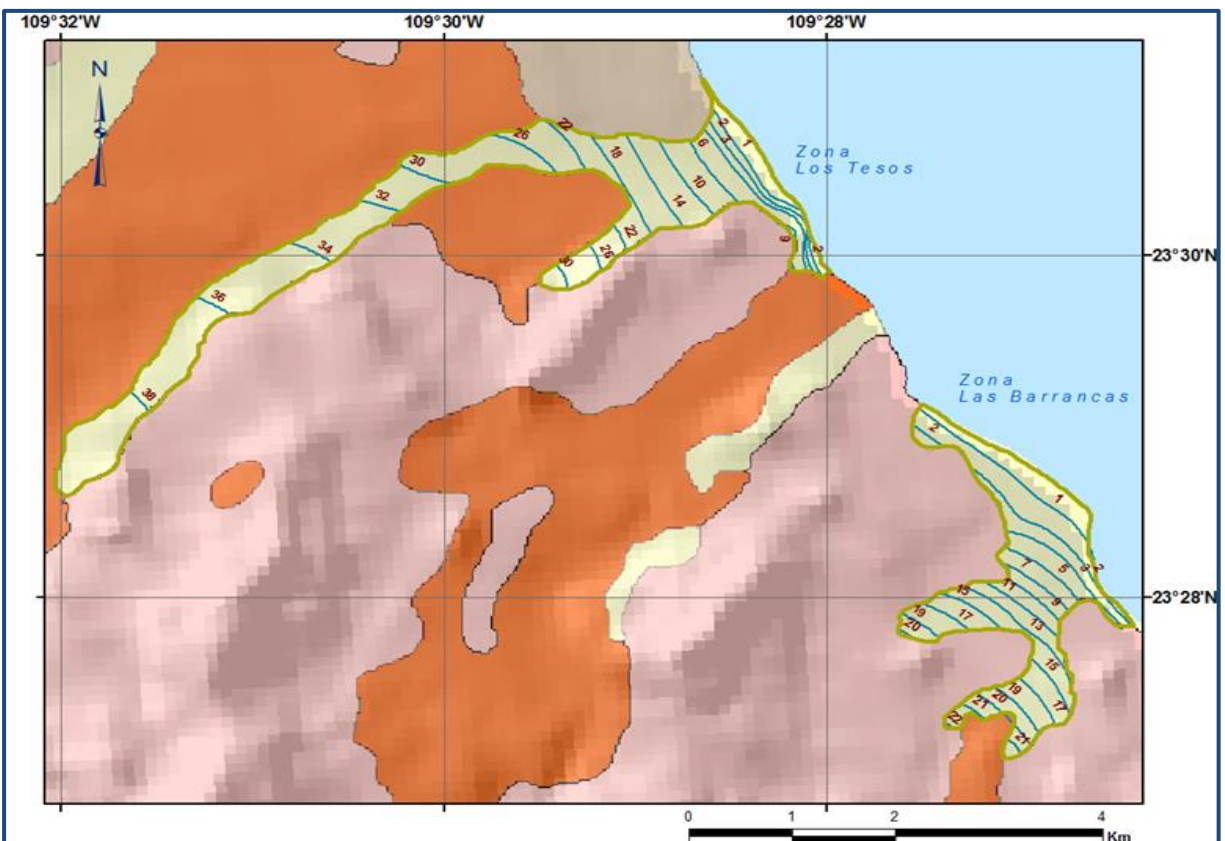


Figura 4a. Profundidad al nivel estático en la zona Los Tesos y Las Barrancas en m (2010)

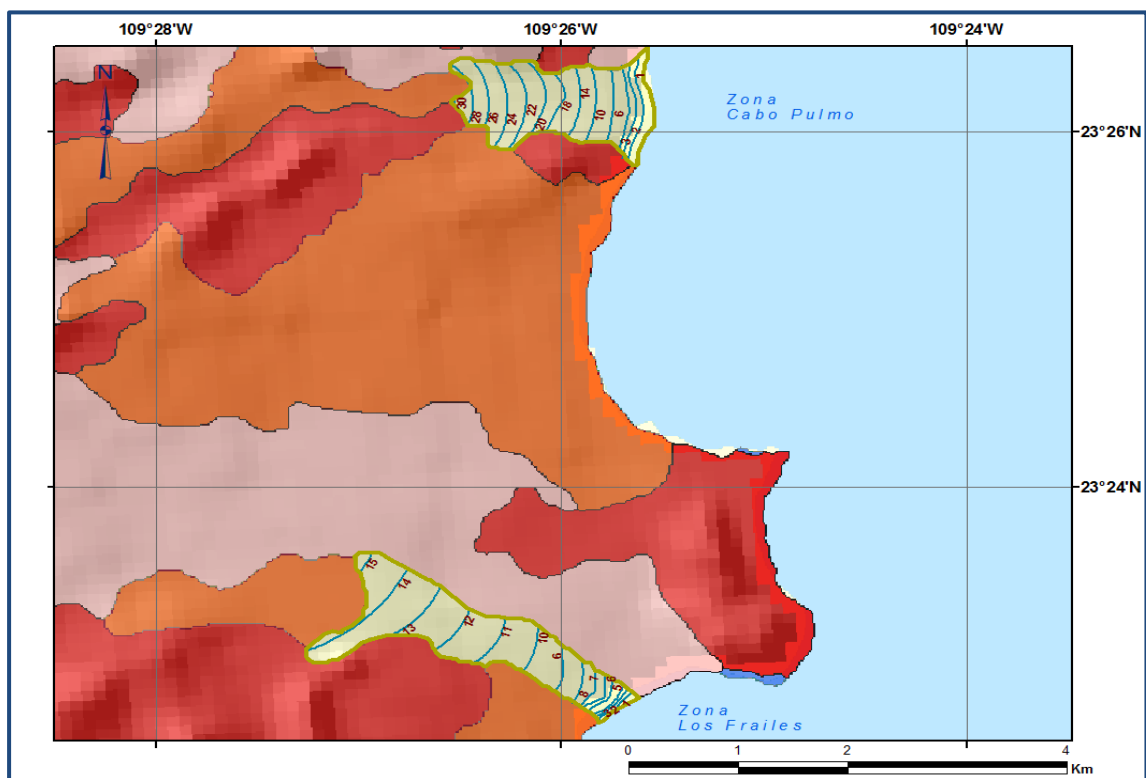


Figura 4b. Profundidad al nivel estático en la zona Cabo Pulmo y Los Frailes en m (2010)

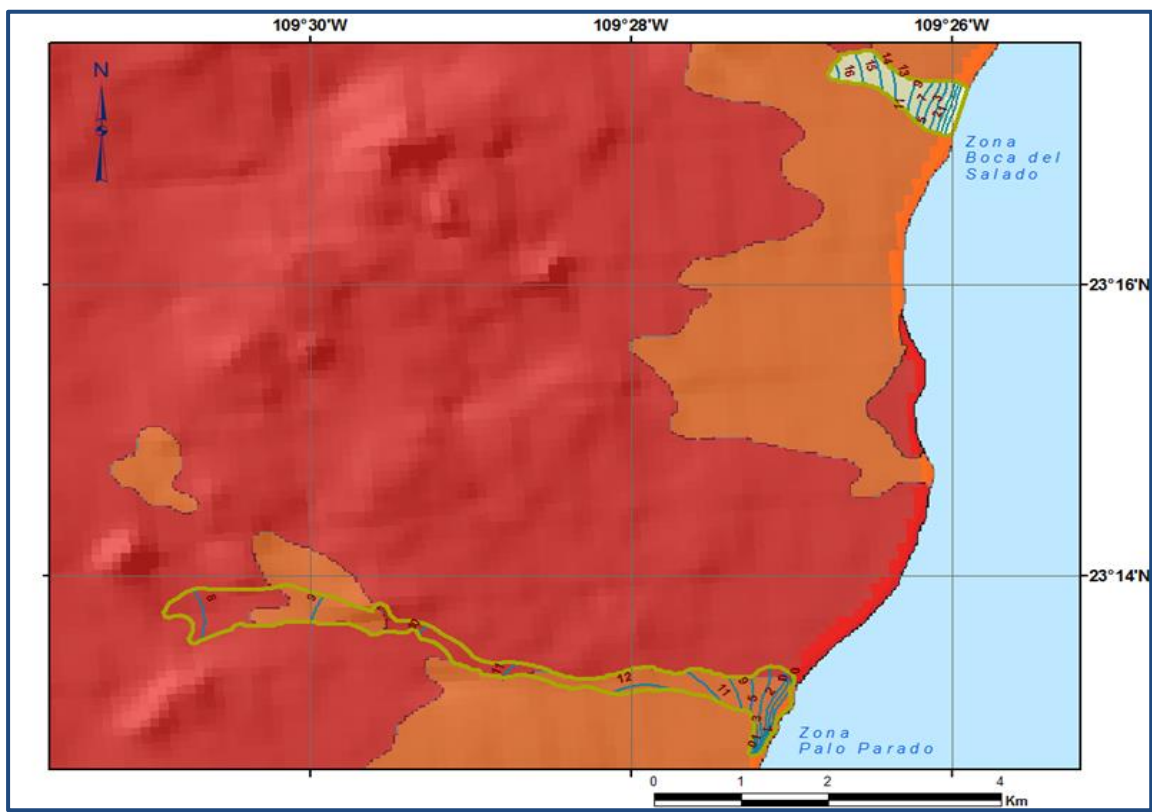


Figura 4c. Profundidad al nivel estático en la zona Boca del Salado y Palo Parado en m (2010)

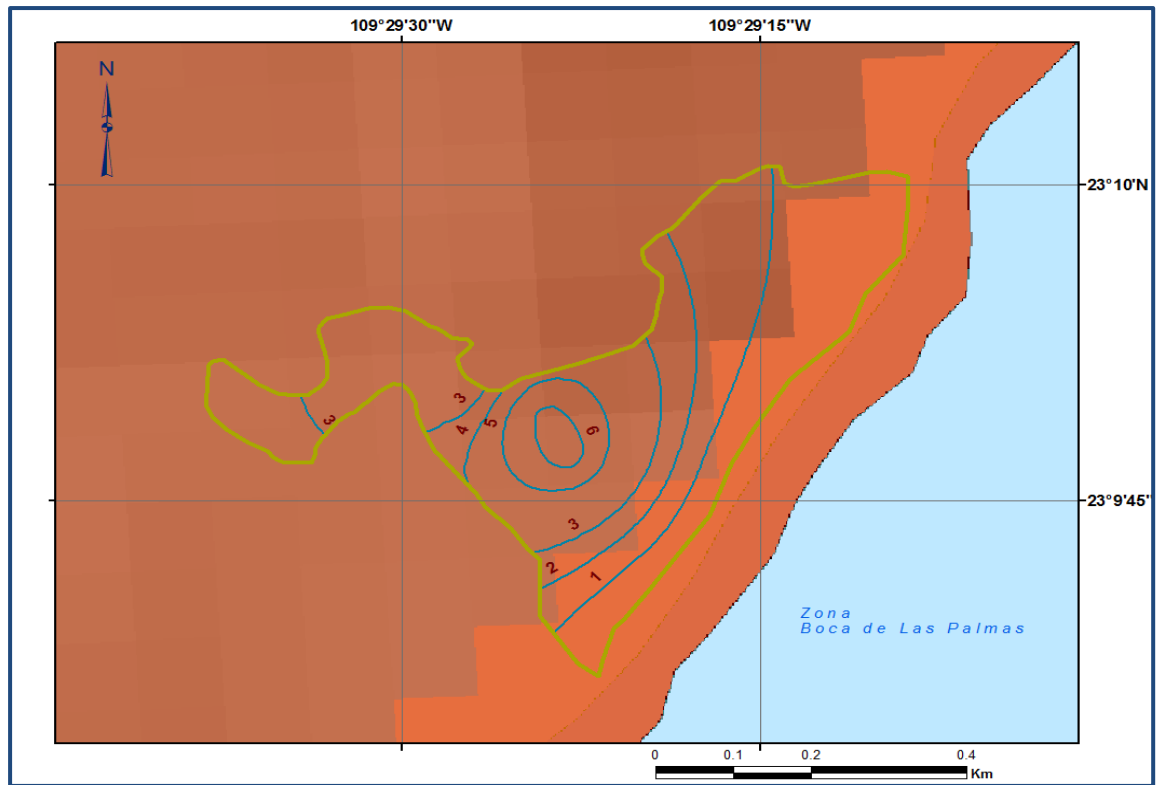


Figura 4d. Profundidad al nivel estático en la zona Boca de Las Palmas en m (2010)

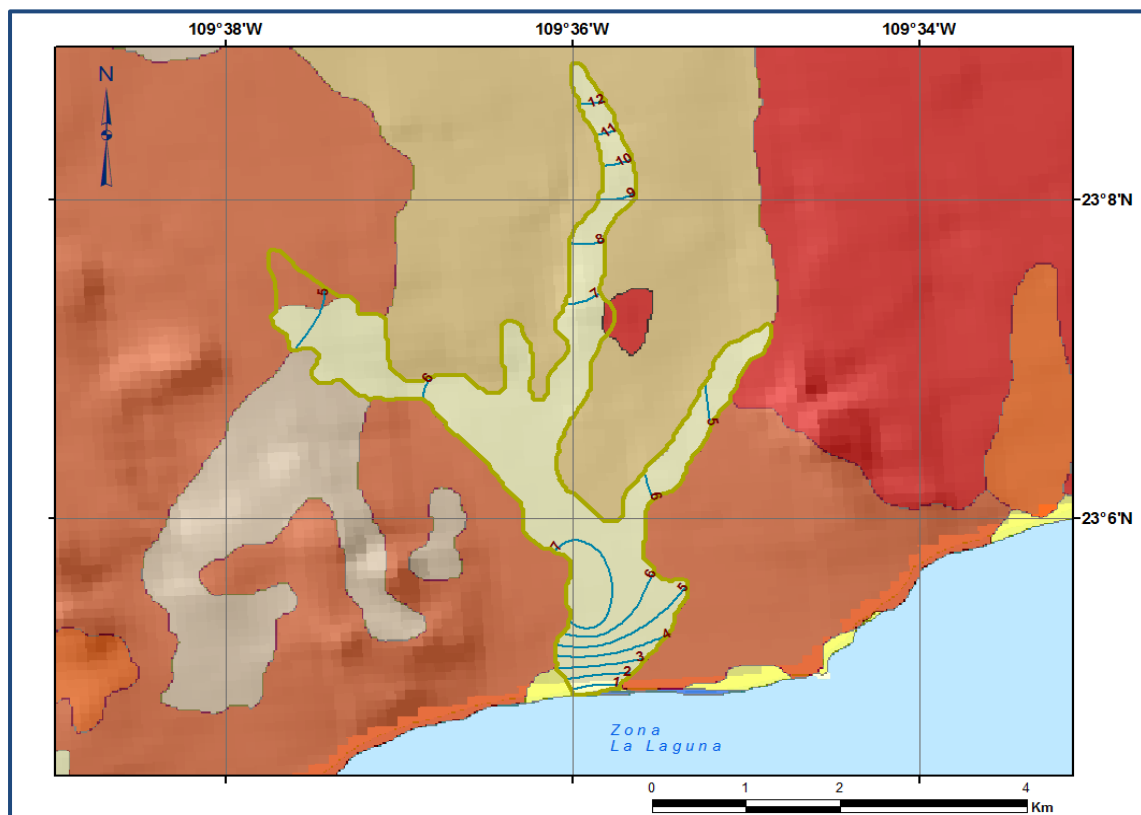


Figura 4e. Profundidad al nivel estático en la zona La Laguna del Zacatito en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

En el acuífero, la configuración de la elevación del nivel estático del año 2010, muestran que el flujo del agua en el subsuelo tiene una semejanza con el hipotético flujo natural de una cuenca exorreica, con dirección de flujo que obedece las fronteras topográficas e hidrogeológicas donde el flujo que proviene de las zonas de recarga confluye en las corrientes principales y se dirige hacia el mar. De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático (Figura 5a, 5b, 5c, 5d y 5e) se observa que los valores varían entre 0 y 190 msnm mostrando el reflejo de la topografía, al igual que los valores de profundidad, lo que indica que el flujo subterráneo no ha sufrido alteraciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo, la dirección de flujo continúa siguiendo el sentido de la corriente de los arroyos, las extracciones son muy puntuales en las diferentes subcuencas y no se modifica el sentido de la dirección y continua la descarga hacia el Golfo de California y hacia el Océano Pacífico. Los valores más bajos se localizan en la porción costera, donde se incrementan gradualmente por efecto de la topografía hacia la zona centro del acuífero. En las figuras 5a, 5b, 5c, 5d y 5e, se muestran las configuraciones de las elevaciones en los diferentes sub-áreas en el acuífero Cabo Pulmo.

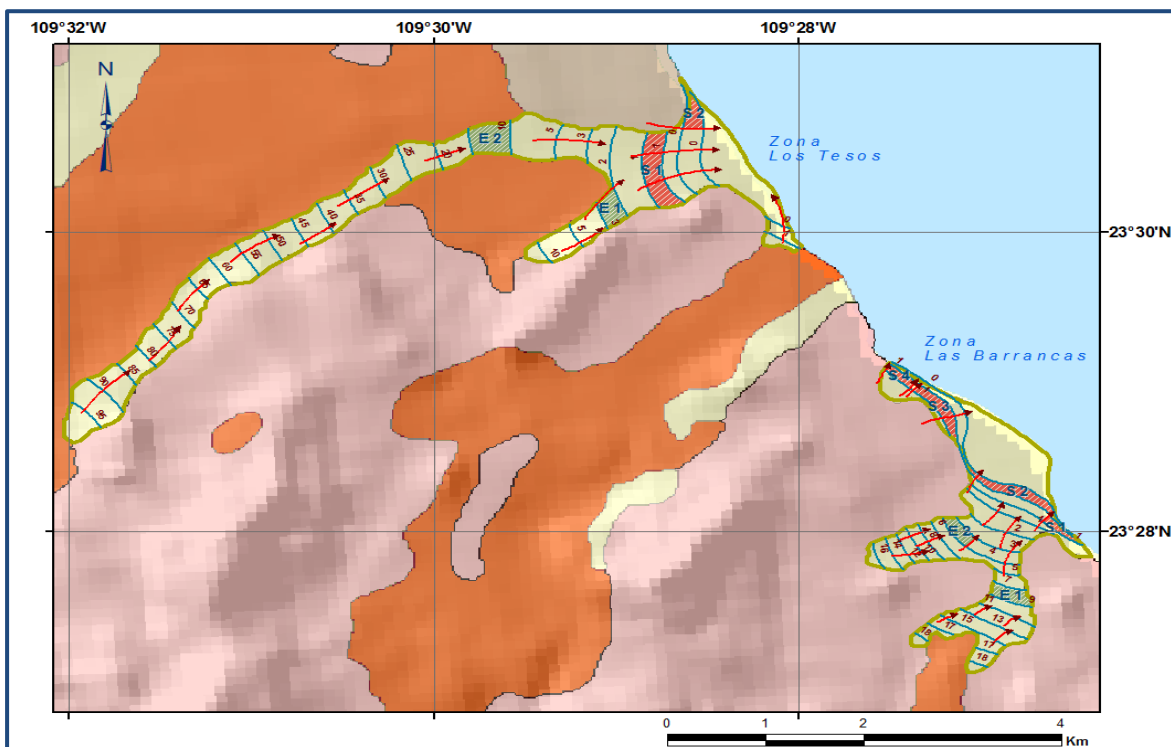


Figura 5a. Elevación del nivel estático para la zona Los Tesos y Las Barrancas en msnm (2010)

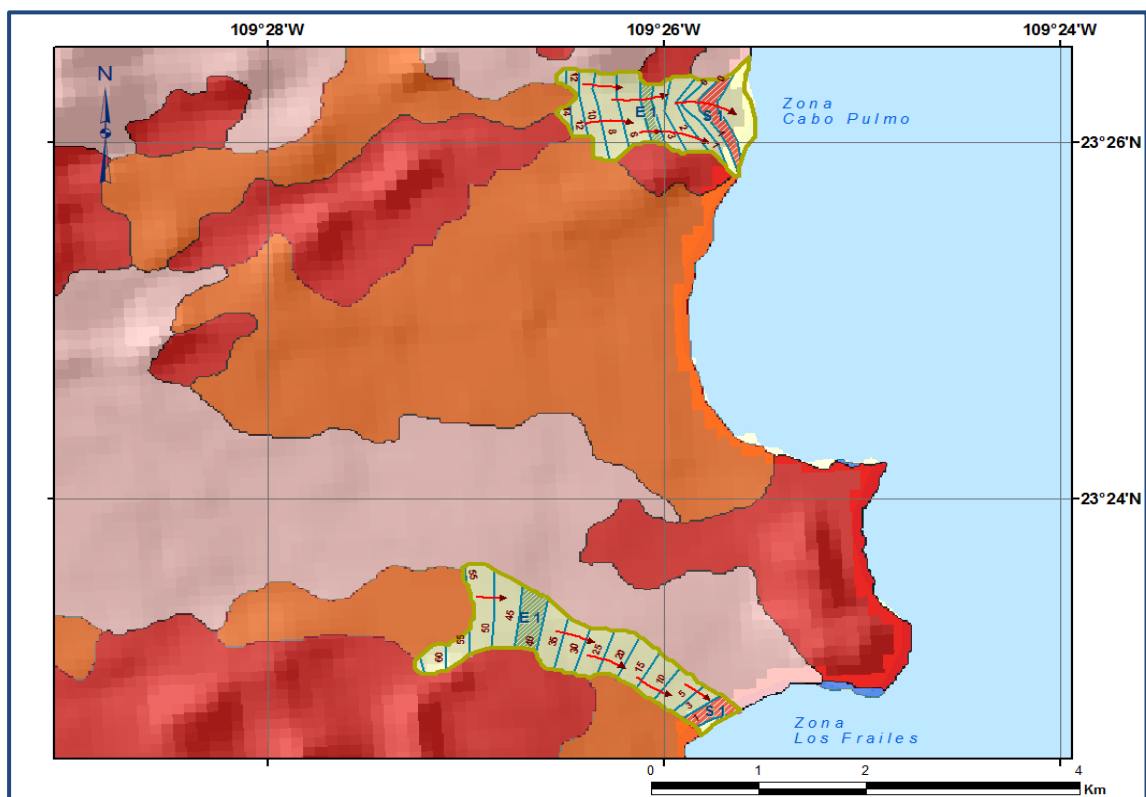


Figura 5b. Elevación del nivel estático para la zona Cabo Pulmo y Los Frailes en msnm (2010)

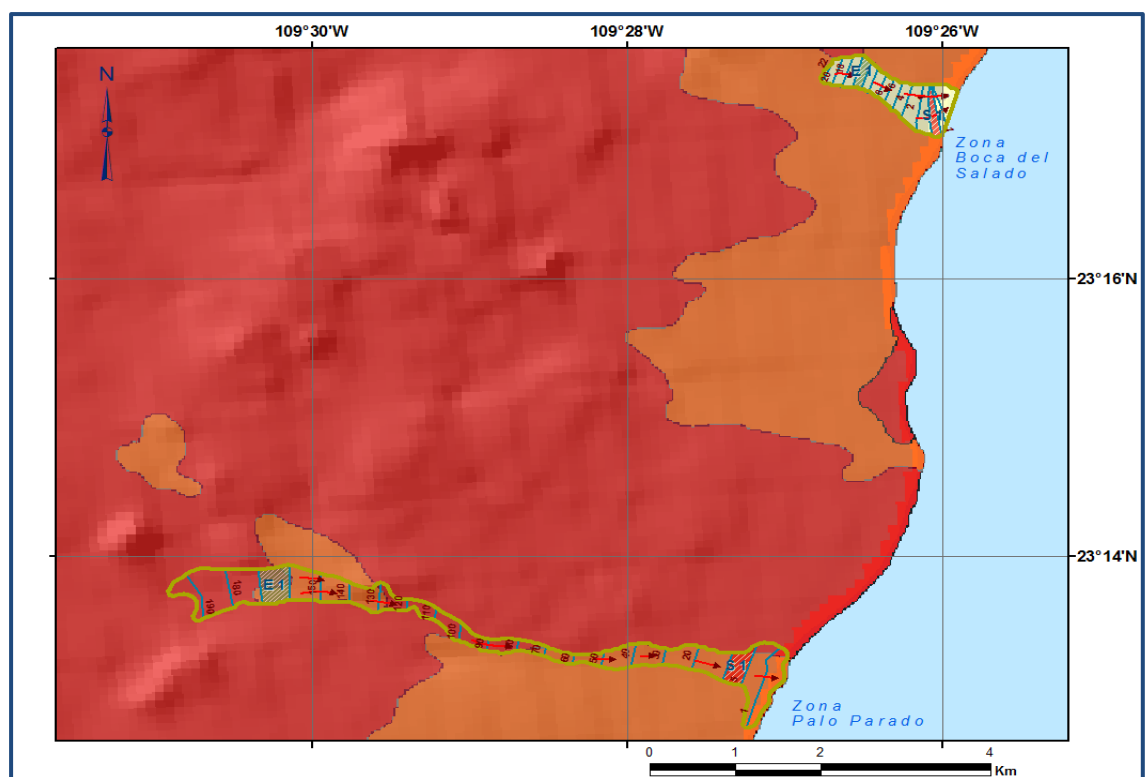


Figura 5c. Elevación del nivel estático para la zona Boca del Salado y Palo Parado en msnm (2010)

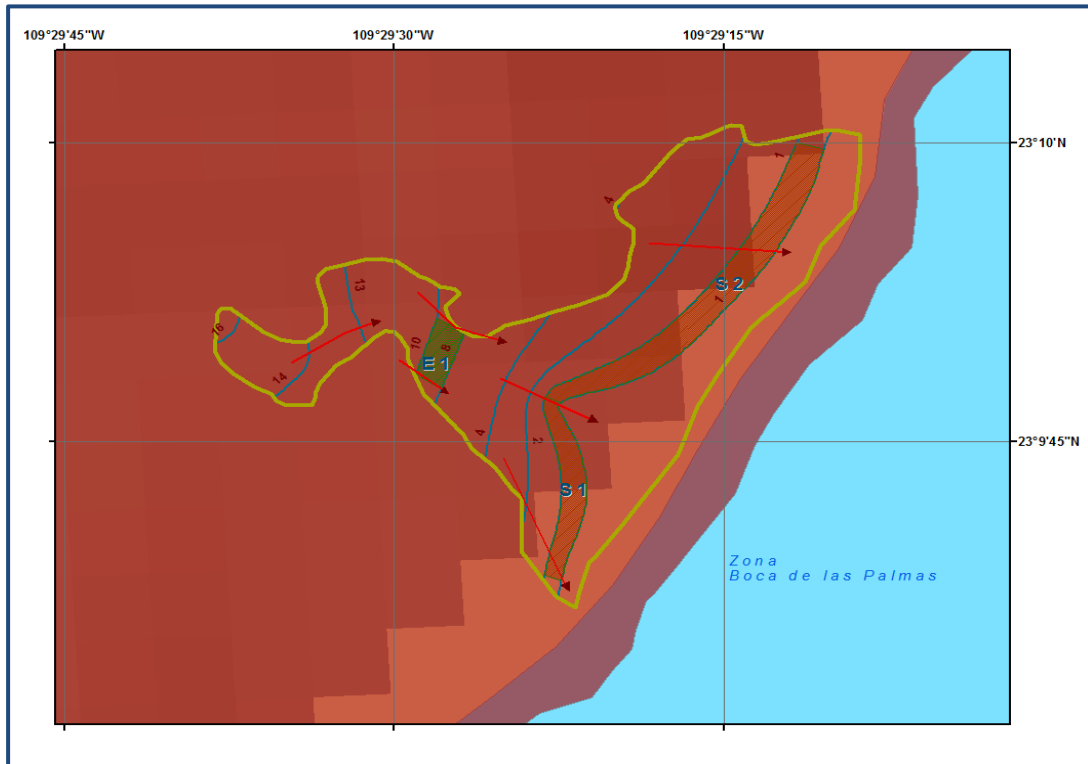


Figura 5d. Elevación del nivel estático para la zona Boca de Las Palmas en msnm (2010)

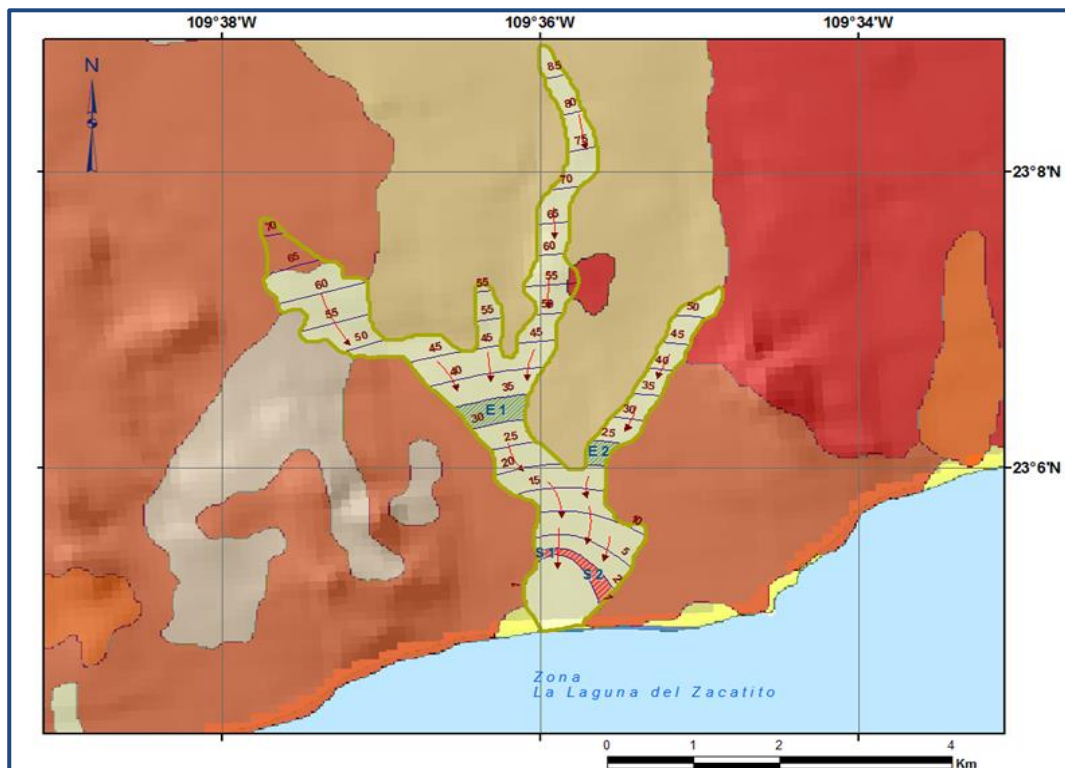


Figura 5e. Elevación del nivel estático para la zona La Laguna del Zacatito en msnm (2010)

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, en el acuífero no se cuenta con antecedentes de los niveles del agua que permitan identificar espacialmente el cambio en los niveles del agua, por lo que no es posible calcular el cambio que se haya presentado en el acuífero, las configuraciones de elevación del agua no muestran alteraciones en el flujo natural del agua subterránea causados por la concentración de aprovechamientos.

Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 10 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación (todas norias), para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 460 a 6580 ppm, 4 de las muestras sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana 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

Valores superiores a las 1000 ppm se registran en algunos aprovechamientos ubicados en la zona costera. Las menores concentraciones se registran en los aprovechamientos localizados hacia las partes topográficamente más altas, ubicadas en el extremo oriental del acuífero.

De acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), el agua extraída se clasifica como de salinidad media, alta y muy alta (C2 C3, C4) y contenido bajo de sodio intercambiable (S1), lo que indica que se pueden utilizar para riego con restricciones importantes como la selección de plantas con tolerancia a la salinidad y selección de suelos con buen drenaje. Con respecto a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se identificó como familia dominante Clorurada-Sódica.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 43 aprovechamientos, de los cuales 5 son pozos y 38 norias; de ellos 40 están activos (5 pozos y 35 norias) y 3 inactivos.

El volumen de extracción se ha estimado en **0.2 hm³** anuales, de los cuales 0.05 hm³ (21.3%) para abastecimiento de agua potable a los centros de población y los 0.17 hm³ restantes (78.7 %) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA

El balance de aguas subterráneas se planteó para el 2010 en una superficie menor a la que ocupa realmente el acuífero, específicamente en la zona donde se emplazan la gran mayoría de los pozos. Abarca una extensión de **20.6 km²** que corresponde tan solo al 3.3% del área total del acuífero, y está diferenciada en cinco subsistemas de recarga y descarga, cada uno con áreas determinadas de 5.1 km², 2.7 km², 1.5 km², 1.6 km², 0.9 km², 1.9 km², 0.2 km² y 6.7 km², respectivamente para las zonas de explotación Los Tesos, Las Barrancas, Cabo Pulmo, Los Frailes, Boca del Salado, Palo Parado, Boca de las Palmas y La Laguna del Zacatito, ubicadas en las zonas costeras del acuífero que inician en el pie de monte y terminan en la línea de costa.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos de los arroyos (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, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

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

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

Donde:

- R_v :** Recarga vertical
- E_h :** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- B :** Bombeo
- Sh :** Salidas por flujo subterráneo horizontal
- ETR :** Evapotranspiración real
- ΔV :** Cambio de almacenamiento
- S :** Coeficiente de almacenamiento
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E_h)

En el área de balance las principales zonas de recarga de agua subterránea de acuerdo a la geología se encuentran en medios granulares permeables que constituyen un recipiente alimentado por las infiltraciones del agua de lluvia a través de los bordes de las sierras y los cauces de los arroyos colectores que circulan hacia esta área.

La cuantificación del caudal de agua subterránea que participa como flujo de entrada subterránea horizontal al acuífero, para un periodo considerado, se aplica realizando la Ley de Darcy a la red de flujo a través de una sección limitada por dos isolíneas equipotenciales y dos líneas de corriente, definidas en la configuración de elevación del nivel estático para el periodo analizado. La ley de Darcy, se expresa de la siguiente manera:

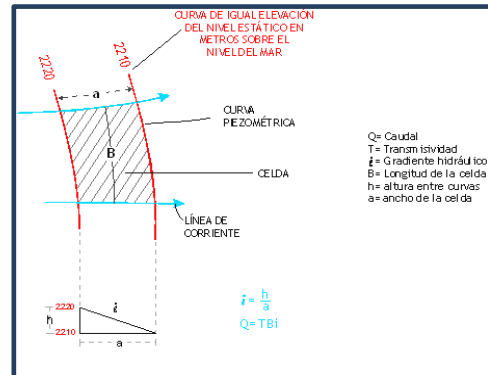
$$Q = T * B * i$$

Donde:

B = Ancho de la celda (m)

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

T = Transmisividad en el canal de flujo (m^2/s)



Los resultados de cada uno de los canales de entradas aparecen en las tablas 2, donde la celda E1 pertenece a la zona de explotación Boca del Salado, E2 a Cabo Pulmo, E3 y E4 a La Laguna del Zacatillo, E5 a Los Frailes, E6 a Palo Parado, E7 y E8 a Los Tesos, E9 y E10 a Las Barrancas y E11 a Boca de las Palmas, en la que es posible establecer que el volumen total de entradas horizontales provenientes de las montañas que rodean a los valles intermontanos y la planicie, son del orden de **1.4 hm³/año**.

Tabla 2. Entradas por flujo subterráneo para el año de 2010.

CELDA	LONGITUD B (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	410.2	0.0196	0.0008	0.006	0.20
E2	566.9	0.0093	0.0004	0.002	0.10
E3	621.6	0.0159	0.0006	0.006	0.20
E4	307.3	0.0163	0.0005	0.003	0.10
E5	300.7	0.0238	0.0008	0.006	0.20
E6	273.8	0.0309	0.0008	0.007	0.20
E7	235.5	0.0046	0.0005	0.001	0.02
E8	396.6	0.0079	0.0005	0.002	0.05
E9	337.8	0.0062	0.0008	0.002	0.10
E10	164.3	0.0092	0.0008	0.001	0.00
E11	90.3	0.0481	0.0011	0.005	0.20
TOTAL					1.40

7.2 Salidas

Las descargas en el acuífero ocurren principalmente por evapotranspiración (ETR), bombeo (B) y salidas por flujo subterráneo (Sh) que descargan hacia los esteros y también mediante la descarga de manantiales (Dm).

7.2.1 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. Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar.

Los valores estimados para este año de análisis se muestran en la tabla 3, donde la celda S1 corresponde a las zonas de explotación Boca del Salado, S2 a Cabo Pulmo, S3 y S4 a La laguna del Zacatillo, S5 a Los Frailes, S6 a Palo Parado, S7 y S8 a Los Tesos, de S9 a S12 pertenece a Las Barrancas y S13 y S14 a Boca de las Palmas.

En las que es posible establecer el valor total de las salidas subterráneas que es igual a **1.9 hm³/año**.

Tabla 3. Salidas por flujo subterráneo en el año 2010

CELDA	LONGITUD B (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	704.5	0.0075	0.0014	0.007	0.23
S2	1017.8	0.0024	0.0007	0.002	0.05
S3	252	0.0159	0.0012	0.005	0.15
S4	781.6	0.0102	0.0012	0.010	0.30
S5	452.7	0.0119	0.0016	0.009	0.27
S6	317.7	0.0247	0.0014	0.011	0.35
S7	918	0.0019	0.0018	0.003	0.10
S8	604.9	0.0018	0.0010	0.001	0.03
S9	435.2	0.0038	0.0005	0.001	0.03
S10	864.2	0.0030	0.0005	0.001	0.04
S11	863.2	0.0045	0.0005	0.002	0.06
S12	405.1	0.0044	0.0005	0.001	0.03
S13	283.5	0.0219	0.0005	0.003	0.10
S14	535	0.0169	0.0005	0.005	0.14
TOTAL					1.90

7.2.2 Evapotranspiración (ETR)

La evapotranspiración 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). En la zona de estudio la transpiración de la flora no es significativa por el tipo de vegetación. 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:

FORMULA DE TURC

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

T (°C) =	23.4	P ² =	50850.25
P(mm)=	225.5	L ² =	2327593.28
L=	1525.6452		
ETR (mm) =		234.9	

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 $0.31L = 472.9$, 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 escasa presencia 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.

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 las estaciones climatológicas (1968 mm CONAGUA, Dirección Local en Baja California Sur). 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 4a se deduce que para una profundidad al NE de 2 m (80 pulgadas) el % de evaporación es del 2%.

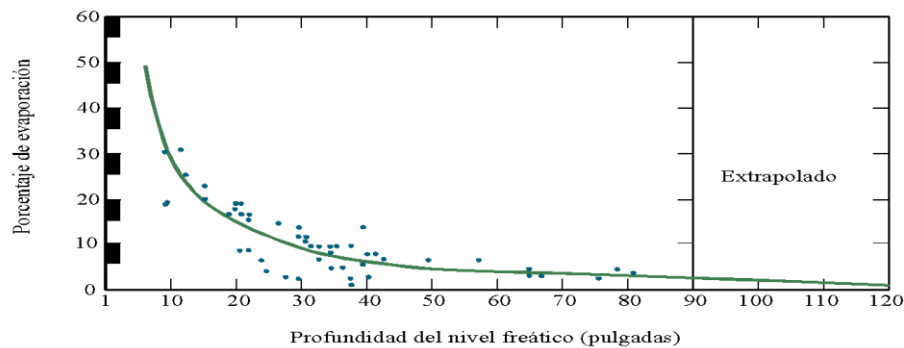


Figura 6. Evaporación del agua subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White.

En la figura 6, se muestran los porcentajes respecto al volumen de evapotranspiración, para las profundidades de 100, 200 y 300 cm. De acuerdo a lo anterior, se estima que el valor de la evapotranspiración promedio anual para el 2010 es de **0.2 hm³**, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Volumen de evapotranspiración respecto al porcentaje estimado.

PROFUNDIDAD MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	% DE EVAPORACIÓN (ESTIMADO DE LA GRÁFICA DE WHITE)	EVAPORACIÓN (mm/año)	ÁREA (Km ²)	VOLUMEN EVAPOTRANSPIRADO (hm ³)
Zona Los Tesos				
100	6.25%	1968	0.12	0.01
200	3.75%	1968	0.17	0.01
300	0.92%	1968	0.17	0.00
Zona Las Barrancas				
100	6.25%	1968	0.7	0.06
200	3.75%	1968	0.48	0.03
300	0.92%	1968	0.3	0.00
Zona Cabo Pulmo				
100	6.25%	1968	0.06	0.01
200	3.75%	1968	0.00	0.00
300	0.92%	1968	0.00	0.00
Zona Los Frailes				
100	6.25%	1968	0.06	0.01
200	3.75%	1968	0.00	0.00
300	0.92%	1968	0.00	0.00
Zona Boca del Salado				
100	6.25%	1968	0.04	0.003
200	3.75%	1968	0.04	0.002
300	0.92%	1968	0.04	0.001
Zona Palo Parado				
100	6.25%	1968	0.04	0.003
200	3.75%	1968	0.05	0.003
300	0.92%	1968	0.05	0.001
Zona Boca de Las Palmas				
100	6.25%	1968	0.06	0.005
200	3.75%	1968	0.04	0.003
300	0.92%	1968	0.04	0.001
Zona La Laguna				
100	6.25%	1968	0.07	0.006
200	3.75%	1968	0.07	0.004
300	0.92%	1968	0.09	0.001
TOTAL				0.17

7.2.3 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **0.2 hm³/año**, a través de pozos y norias, que se encuentran en las diferentes zonas de explotación.

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 espacio 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 esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero. Por lo tanto para fines del balance $\Delta V(S) = 0$

Solución de la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes que intervienen en la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la recarga vertical, despejando este término de la ecuación definida, se tiene:

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

$$R_v = 1.9 + 0.2 + 0.2 \pm 0.0 - 1.4$$

$$R_v = 0.9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + Eh$$

$$R = 0.9 + 1.4$$

$$R = 2.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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, su valor es de **2.3 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero, se considera que la descarga natural comprometida es de 1.8 hm³, corresponden a la salida por flujo subterráneo que debe comprometerse para mantener la posición de la interfase marina y 0.2 hm³ a la evapotranspiración. Por lo tanto la **DNC = 2.0 hm³ anuales**.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **2,586,941 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 2.3 - 2.0 - 2.586941 \\ \text{DMA} &= -2.286941 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **2,286,941 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Recursos Hidráulicos 1971. Estudio Geofísico de las Zonas de la Paz, Carrizal, Arroyo San José del Cabo y Santiago, en el territorio de Baja California Sur. Elaborado por la empresa GEOFIMEX S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas 1977. Servicio de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Zona de Cabo Pulmo, Estado de Baja California Sur. Elaborado por la empresa InGeo, S.C.