



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PARALELO 28 (0339), 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.....	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología estructural	12
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos.....	14
5.3 Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	16
5.4.3 Evolución del nivel estático	17
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	18
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	18
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	19
7.1 Entradas.....	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	20
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	20
7.2 Salidas	21
7.2.1 Bombeo (B).....	21
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	21
7.2.3 Evapotranspiración (ETR).....	22
7.3 Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	24
8. DISPONIBILIDAD.....	24
8.1 Recarga total media anual (R).....	25
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	25
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA)	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	28

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-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 Paralelo 28, definido con la clave 0339 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo norte-nororiental del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 27°37' y 28°00' de latitud norte y los meridianos 112°43' a 113°40' de longitud oeste cubriendo una superficie de 821 km². Colinda al norte con los acuíferos El Progreso–El Barril y Llanos del Berrendo, pertenecientes al estado de Baja California, al oeste con el acuífero Vizcaíno y al sur con el acuífero Las Vírgenes, pertenecientes al estado de Baja California Sur y al este con el Golfo de California (figura 1).

Geopolíticamente se encuentra ubicado completamente en el municipio de Mulegé.



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

ACUIFERO 0339 PARALELO 28							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	45	51.5	28	0	0.0	DEL 1AL 2POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	112	43	2.3	27	48	48.2	
3	112	47	43.1	27	46	27.9	
4	112	53	16.2	27	42	16.2	
5	112	54	55.2	27	38	41.0	
6	112	59	58.6	27	37	27.7	
7	113	3	25.3	27	41	56.5	
8	112	57	38.2	27	56	49.0	
9	112	59	44.2	27	59	59.7	DEL 9 AL 1POR EL LIMITE ESTATAL
1	112	45	51.5	28	0	0.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Paralelo 28 pertenece al Organismo de Cuenca “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. Esta veda es tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos 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. Actualmente no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero Paralelo 28 no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, se cuenta solamente con un estudio y escasa información geohidrológica disponible:

INFORME FINAL DEL ESTUDIO HIDROGEOLOGICO EN EL VALLE PARALELO 28 B.C.S., elaborado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, en 1977. El estudio se realizó mediante reconocimiento aéreo del área, interpretación fotogeológica aérea y reconocimientos geológicos de campo.

El objetivo general fue delimitar cualitativamente el acuífero. Las conclusiones en general indican que las condiciones geohidrológicas no son favorables para el aprovechamiento de agua subterránea, debido al escaso desarrollo de depósitos permeables y a la baja precipitación.

CENSO DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS EN EL ACUÍFERO PARALELO 28, 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 la salinidad del agua subterránea en la zona costera, hacia La Trinidad, sobrepasa los valores permitidos para el agua destinada al consumo humano. Sin embargo, en el acuífero vecino Vizcaíno se han llevado a cabo diversos estudios, entre los más recientes podemos mencionar los siguientes:

PERFORACIONES EXPLORATORIAS, elaboradas por la Residencia de Geohidrología y Zonas Áridas de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1985. Para definir el espesor del relleno aluvial. Por medio de 15 pozos exploratorios reconocen el basamento geohidrológico del acuífero en los materiales turbidíticos de la formación Bateque de edad Paleoceno-Eoceno. Sus características arcillosas lo constituyen en un acuicludo de origen marino del periodo terciario.

PERFILES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN POZOS PILOTO, elaborados por la Subgerencia Técnica de la Gerencia Regional Península de Baja California y la Gerencia Estatal en Baja California Sur, en 2001. Para determinar la distribución vertical de la salinidad en el acuífero. Los perfiles de conductividad eléctrica en pozos localizados dentro de la zona con inversión del gradiente hidráulico definido en el censo de pozos (para el ciclo agrícola 1999- 2000), mostraron que a mayor profundidad prevalece una estratificación de agua de mala calidad. Esto permitió inferir un origen diferente de la salinidad por la presencia de unidades estratigráficas que le aportan un alto contenido de sólidos totales disueltos al agua subterránea de los pozos ubicados en la zona de mayor explotación, ubicada dentro de los depósitos marinos del Plioceno y el Pleistoceno de la Formación Almeja y los materiales fluviales que fueron posteriormente depositados sobre los paleocanales de los arroyos San Pablo y San Luis.

ESTUDIO DE RESISTIVIDAD PARA DELIMITAR LA EXTENSIÓN DE LA INTRUSIÓN DE AGUA SALADA EN LA CUENCA HIDROLÓGICA DE VIZCAÍNO, elaborado por convenio entre la Comisión Nacional del Agua, El Consejo de Recurso Minerales y la Empresa Exportadora de Sal S.A. DE C.V., en 2003.

El objetivo de este estudio fue profundizar en la revisión del marco geohidrológico conceptual, a través de sondeos geoelectrónicos y delimitar la extensión de la intrusión de agua salada en la cuenca hidrológica. Se caracterizó la presencia de una cuña salina próxima a los vasos salineros para la producción de sal en Guerrero Negro, que presentan una carga hidráulica de +2.20 msnm que modifica el límite costero de este acuífero. Sin embargo, debido a la capacidad de carga del acuífero, por arriba del nivel medio del mar, fue posible inferir otro origen de la salinidad presente en los pozos agrícolas. Este estudio recomienda la perforación de cuatro pozos de observación con el objeto de establecer un monitoreo sistemático de la cuña salina dentro de la zona.

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 de 23°; en esta última localización se localiza la región de San José del Cabo, más allá del Trópico de Cáncer. Dicha provincia se extiende a lo largo de 1,333 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 limita en el extremo norte con la subprovincia Sierras de Baja California, al noroeste con el desierto de San Sebastián Vizcaíno, al oeste y sur con Llanos de Magdalena y al este con el Golfo de California. Tiene una longitud aproximada de 540 km cubriendo una superficie de 32,765 km².

Su 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.

Localmente el acuífero presenta tres zonas fisiográficas principales: zonas montañosas, valle aluvial y planicie costera. La zona montañosa ocupa la mayor parte cubriendo aproximadamente 75% del área, presenta una topografía abrupta, con fuertes pendientes que terminan en acantilados sobre la costa del Golfo de California.

Están constituidas principalmente por rocas ígneas extrusivas de la Formación Comondú. El valle aluvial cubre una superficie aproximada de 20% y está constituido por 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 las partes topográficamente más bajas, con espesor desconocido, pero se infiere que puede variar desde algunos metros hasta cerca de 80 m.

La planicie costera tiene una topografía moderada con escaso desarrollo costero que cubre el 5% restante de la superficie del acuífero, está constituida por sedimentos marinos recientes y restos de lagunas marginales que forman salinas. En ocasiones estos sedimentos están cubiertos por reducidos espesores de depósitos fluviales de playa y eólicos. En general, el tipo de vegetación de mayor distribución es característico de zonas áridas como el matorral (sin erosión apreciable), en menor distribución matorral desértico micrófilo y mezquital. Los suelos existentes son regosoles, feozem, yermosol y xerosol.

3.2 Clima

Debido a que en el acuífero Paralelo 28 no existen estaciones climatológicas, se tomaron datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación potencial de estaciones climatológicas cercanas que presentan un régimen similar en precipitación. Las estaciones consideradas fueron: Guillermo Prieto, ubicada en el acuífero de Vizcaíno, y Santa Marta ubicada en el acuífero San Ignacio, con periodo de análisis de 18 años correspondientes a los años 1991-2008.

Para el análisis también se contó 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 5. Con base en esta información, se determina que en la zona del acuífero Paralelo 28 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 extremoso de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental, por lo que se considera de tipo caluroso extremoso.

Esto se debe a la interacción de diversos factores: latitud, relieve y las corrientes marinas del Golfo de California. En las partes topográficamente bajas y cercanas a la línea de costa el clima en el acuífero está caracterizado por BW (h´) hw (x´) muy seco cálido; en tanto que en la porción media el clima se caracteriza por ser BW hw (x´) muy seco semicálido y en las partes alta de la sierra predomina el clima BSO kw (x´) seco templado.

La temperatura media anual es de **20.8°C**, con máxima de 46°C para el mes de agosto y una mínima de -1°C para los meses de diciembre y enero. En cuanto a la precipitación media anual, su promedio anual varía entre 104 a 196 mm, con precipitaciones máximas de hasta 184.8 mm en el mes de septiembre. La temporada de lluvias se presenta en intervalos entre los meses de agosto a diciembre. Su valor promedio es de **150 mm anuales**. La evaporación potencial media es de **2,260 mm** (TMI, 1977).

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

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica 5, Baja California Centro-Este, correspondiente a la vertiente que drena hacia el Océano Pacífico. A nivel de cuenca, pertenece a la cuenca A “Santa Isabel y Otros” y B “Arroyo Paterna-Arroyo Mulegá.

La región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores bajos de precipitación y escasez natural de agua. Los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia el valle aluvial y la planicie costera. Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias.

Existen numerosos arroyos de poca importancia que descienden de la sierra y se pierden en la planicie, como son: Arroyo San Juan, El Mojón, Las Mesas, San Gregorio y

El Rosario. No existen estaciones meteorológicas e hidrométricas, ni infraestructura hidráulica para el almacenamiento de las corrientes superficiales.

3.4 Geomorfología

Los rasgos morfológicos en el área de estudio denotan un estado geomorfológico de madurez temprana, en el que destacan las sierras constituidas por rocas volcánicas erosionadas de la Formación Comondú, con desnivel de más de 1,400 m y fuertes pendientes que terminan en acantilados hacia el Golfo de California. En ella nacen 5 arroyos principales que drenan hacia el Golfo de California. La red de drenaje característico es de tipo dendrítico con cauces generalmente profundos en la zona serrana, más amplios y planos en la zona de valle y planicie costera tendiendo a formar meandros.

De manera particular, en el área de estudio se distinguen unidades geomorfológicas clasificadas como Sierras Altas, Sierras Bajas, Valle Aluvial, Abanicos Aluviales y Planicie Costera. Los rasgos fisiográficos y geomorfológicos en la zona centro del acuífero presentan condiciones favorables para el desarrollo de un acuífero debido a su planicie moderada con escaso desarrollo costero.

4. GEOLOGÍA

Las unidades litológicas que afloran dentro de la región que cubre el acuífero se relacionan con una intensa actividad volcánica que ocurrió a fines del Mioceno en zonas de fracturamiento incipiente, a lo largo de un eje de fallamiento paralelo al borde de la actual costa oriental de la Península de Baja California. Esta actividad volcánica dio origen a la Formación Comondú la cual forma la Sierra La Giganta, conformada por más de 1,200 metros de espesor de sedimentos volcánicos terciarios que varían en litología desde andesitas, riolitas, tobas hasta brechas y conglomerados que se depositaron sobre las rocas graníticas del batolito peninsular.

Después de esa época, la erosión acumuló grandes cantidades de rellenos aluviales encontrados en el valle, en los cauces de los arroyos y en una pequeña área de planicie costera.

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.

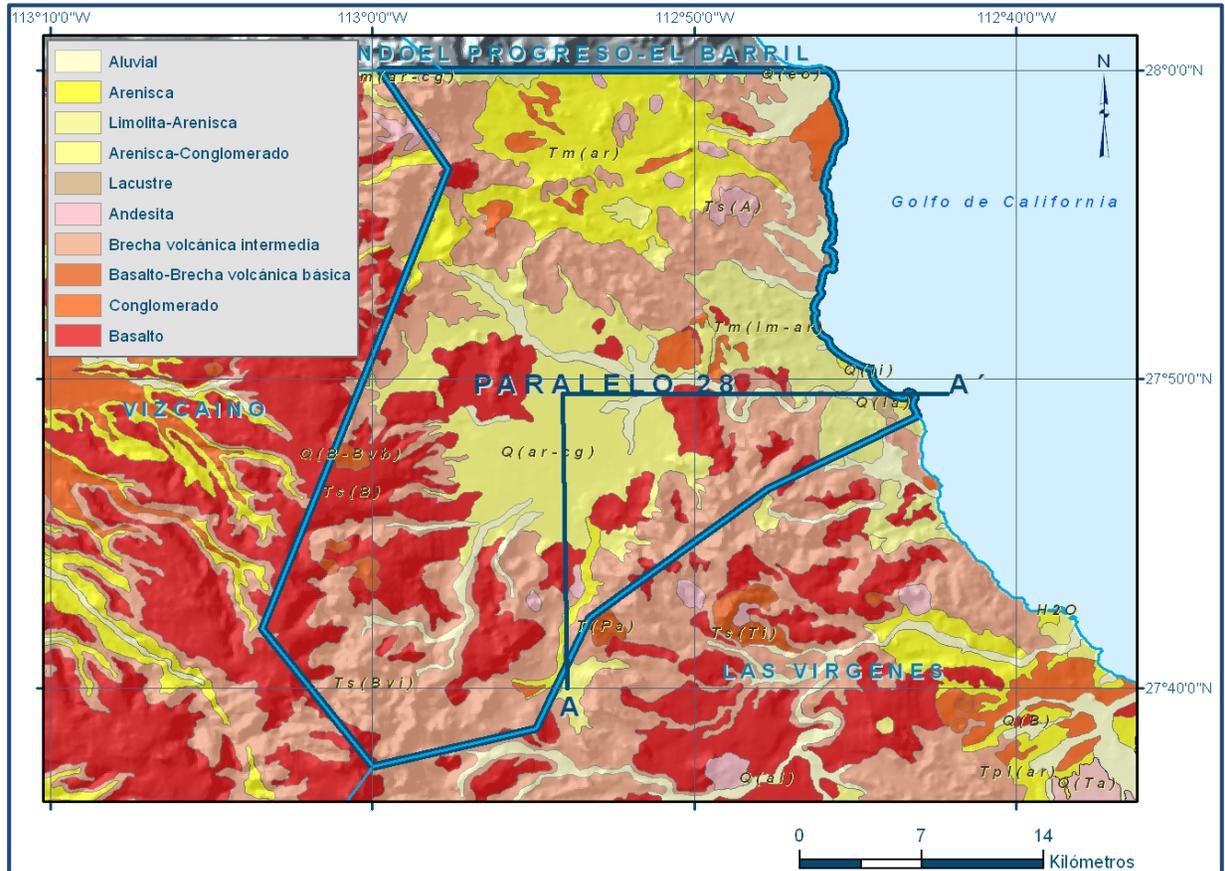


Figura 2. Geología general del acuífero

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 incluyen 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. Su espesor se estima en más de 1,200 metros.

Federico Mina (1957) la dividió en dos unidades diferentes. 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. A través del fracturamiento recarga lentamente el agua retenida durante las lluvias hacia la zona baja, donde se localizan los rellenos aluviales del Cuaternario.

Hausback (1984) restringe el nombre de Formación Comondú al arco miocénico representado por rocas volcánicas y volcanoclásticas que conforman el grueso de la Sierra La Giganta. En el área del acuífero se encuentra formando las sierras San Francisco (norte y noroeste del acuífero), el Serrucho (al norte) y Las Tinajas de Murillo (este y sureste). Cubre también las mesas La Caponera y San Gregorio, localizadas al sur del acuífero, constituidas de brechas volcánicas intermedias y basaltos miocénicos que se encuentran coronados por basaltos cuaternarios.

Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios que se encuentran expuestos en la zona están constituidos por depósitos aluviales y fluviales, depósitos de abanicos aluviales y pie de monte, salitrales y pequeños depósitos eólicos en la zona costera. Los depósitos aluviales y fluviales se encuentran constituidos por materiales de acarreo, principalmente gravas y arenas gruesas intercaladas, limos y escasa arcilla. Forman parte del valle y de los cauces de los arroyos principales, los cuales funcionan como canales de alta permeabilidad.

Los depósitos de abanicos aluviales y de pie de monte están compuestos principalmente por conglomerados y materiales gruesos de acarreo que varían desde cantos rodados hasta arenas gruesas.

Se encuentran sobreyaciendo a la Formación Comondú con espesores de casi 80 m,

forman un valle aluvial en el centro del acuífero que representa zona de mayor almacenamiento temporal de la infiltración proveniente de los escurrimientos de las rocas volcánicas. A pesar de tener buena permeabilidad no constituyen acuíferos debido a la escasa precipitación que recibe.

Los salitrales se localizan sobre la planicie costera formado planicies de inundación, una zona salina ubicada al norte de Bahía San Carlos y zonas de marismas en desembocaduras de arroyos principales. Los materiales eólicos se encuentran formando dunas en la zona costera. En la tabla 2, se presentan las principales características hidrogeológicas de las unidades geológicas del acuífero.

Tabla 2. Características de las unidades hidrogeológicas del acuífero

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 y evaporitas.	Forman planicies de inundación y salinas sobre la planicie costera y zonas de marismas.	Baja permeabilidad	Ya que se encuentran sobre desembocaduras de arroyos permiten que el agua se contamine
Q(Cg)	Principalmente conglomerados	Localizados en los márgenes del valle aluvial y en la desembocadura del arroyo San Juan. Forman algunas terrazas	Buena permeabilidad	Debido a que los afloramientos son restringidos y de poco espesor, no tienen importancia geohidrológicas en el acuífero.
Q(ar-cg)	Arenas, conglomerados y areniscas conglomeráticas	Aluviales, pie de monte y valle aluvial.	Buena permeabilidad	Tiene características para formar un pequeño acuífero, solo que recibe poca precipitación.
TFC	Rocas volcánicas (brechas y basaltos principalmente)	Sierras altas y bajas. Expuesta en casi todo el acuífero excepto en el centro (valle) y planicie costera.	Impermeable	Funciona como captadora de agua de lluvia recolectada por arroyos hacia la planicie costera, limitan la zona y forman barreras laterales.

Fuente: Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., 1977

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.

Este periodo es muy importante en la región, ya que se le asocia a la intrusión de estructuras tabulares de diferente composición.

Estructuralmente el área del acuífero se comporta en forma de bloques escalonados, con sensible basculamiento, provocados por fallamiento paralelo a las fallas regionales. La dirección principal de las fallas y lineamientos es NE-SW, donde destacan fallas normales y un secundario con orientación NW-SE. Estos rasgos estructurales definen la dirección de la red de drenaje de algunos arroyos como San Juan, El Gato, San Gregorio y el que desemboca en Bahía San Carlos.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con las evidencias de campo, la información de la geología del subsuelo y la sección geológica A-A´ de la carta geológico-minera Santa Rosalía, clave G12-1, Baja California Sur, escala 1:250,000 del SGM, 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 forma de valle aluvial, en los cauces de los arroyos y en la planicie costera (figura 3). Su espesor se desconoce, pero se infiere que puede variar desde algunos metros hasta algunas decenas de metros.

El acuífero se encuentra bordeado por las rocas volcánicas impermeables de la Formación Comondú, que generalmente funcionan como barreras laterales e inferiores; al oriente la frontera es de carga constante representada por el Golfo de California.

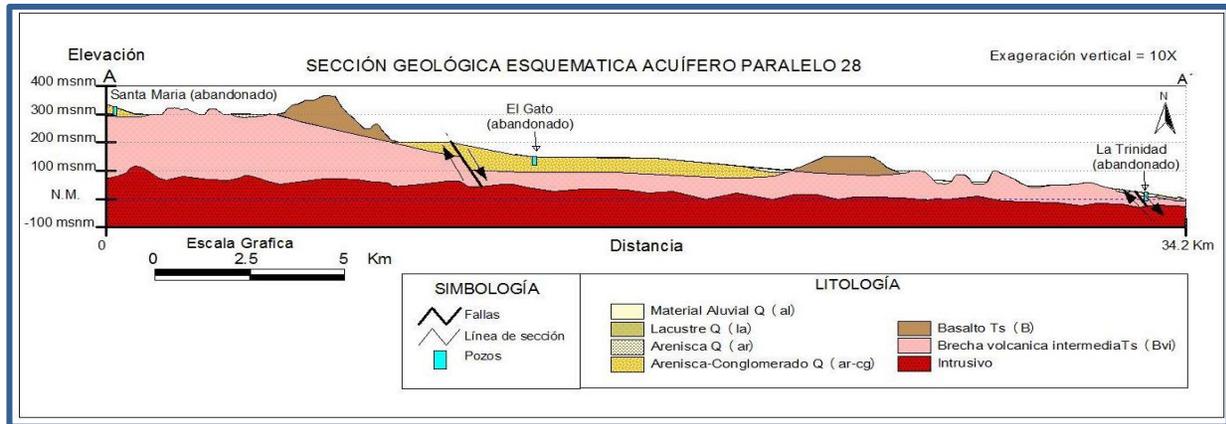


Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica disponible, 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.

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.

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 en zonas que presentan niveles freáticos someros. La descarga por extracción se considera nula debido al abandono de los ranchos.

Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual es muy bajo, las lluvias de temporada y la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos tienen un efecto importante sobre la recarga subterránea del acuífero.

5.2 Parámetros hidráulicos

No se han realizado pruebas de bombeo para determinar las características hidráulicas del acuífero.

Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Vizcaíno y San Ignacio, con características litológicas y evolución geológica similar, es posible adoptar valores característicos de transmisividad según la litología del área de balance donde se encuentran dispersos los aprovechamientos, la cual está asociada a limos, arenas y conglomerados.

De esta manera, los valores promedio de transmisividad pueden variar entre **1×10^{-3} a $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , 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, no existe registro histórico, sólo se dispone de la información recabada en el año 2010 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

En la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 4, se puede observar los valores varían desde algunos centímetros, en la zona costera donde se ubica el Rancho La Trinidad, hasta los 5 m que se registran en el Rancho El Rosario, conforme se asciende topográficamente.

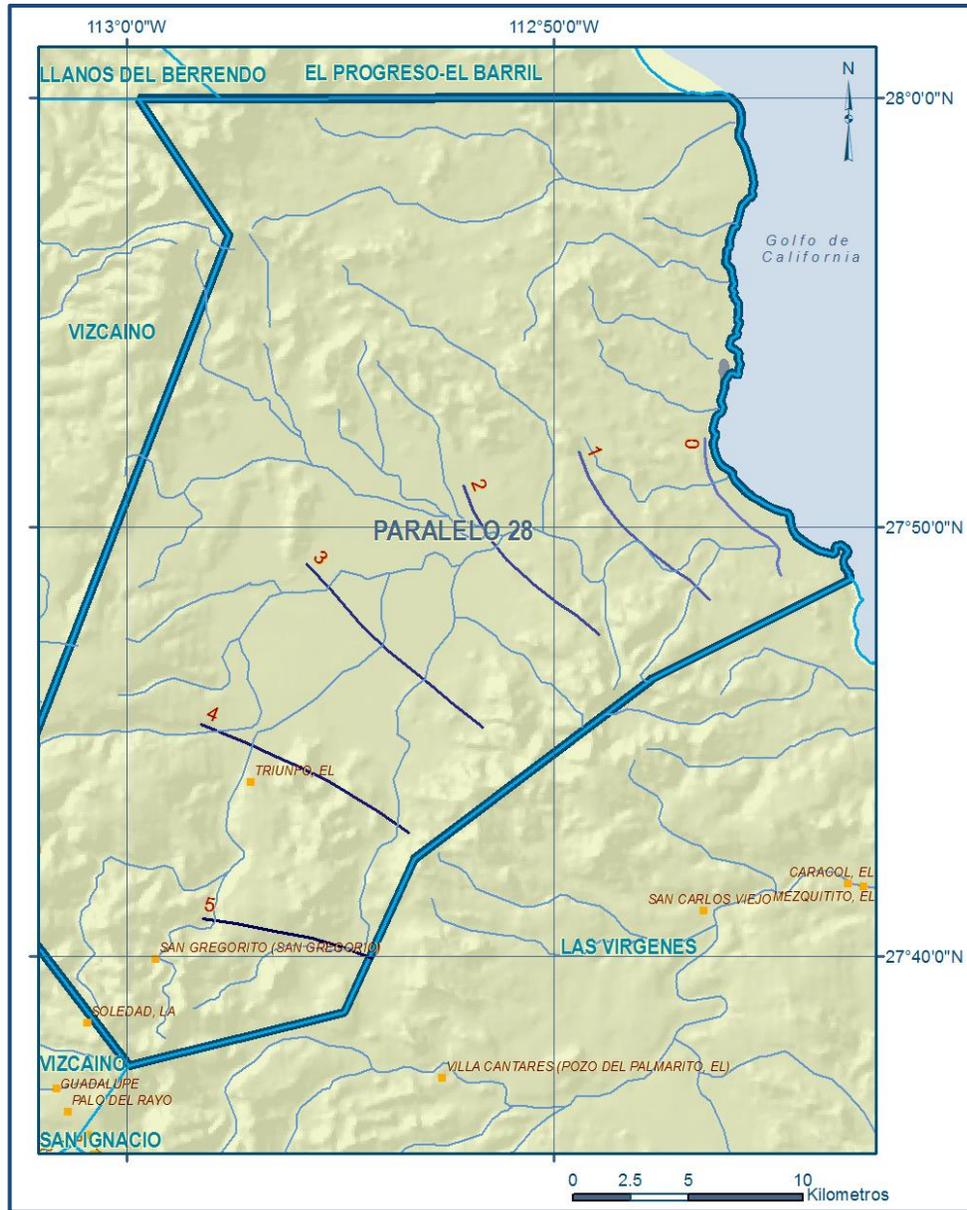


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 5, se observa que sus valores, al igual que la profundidad, muestran claramente el reflejo de la topografía, evidenciando de esta manera que el flujo subterráneo no ha sufrido modificaciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo.

Es clara la dirección preferencial del flujo subterráneo SW-NE, hacia el mar, en sentido paralelo a la dirección del escurrimiento de los arroyos. La elevación del nivel estático varía de 5 a 303 msnm que se registran en los ranchos abandonados La Trinidad y Santa María, respectivamente.

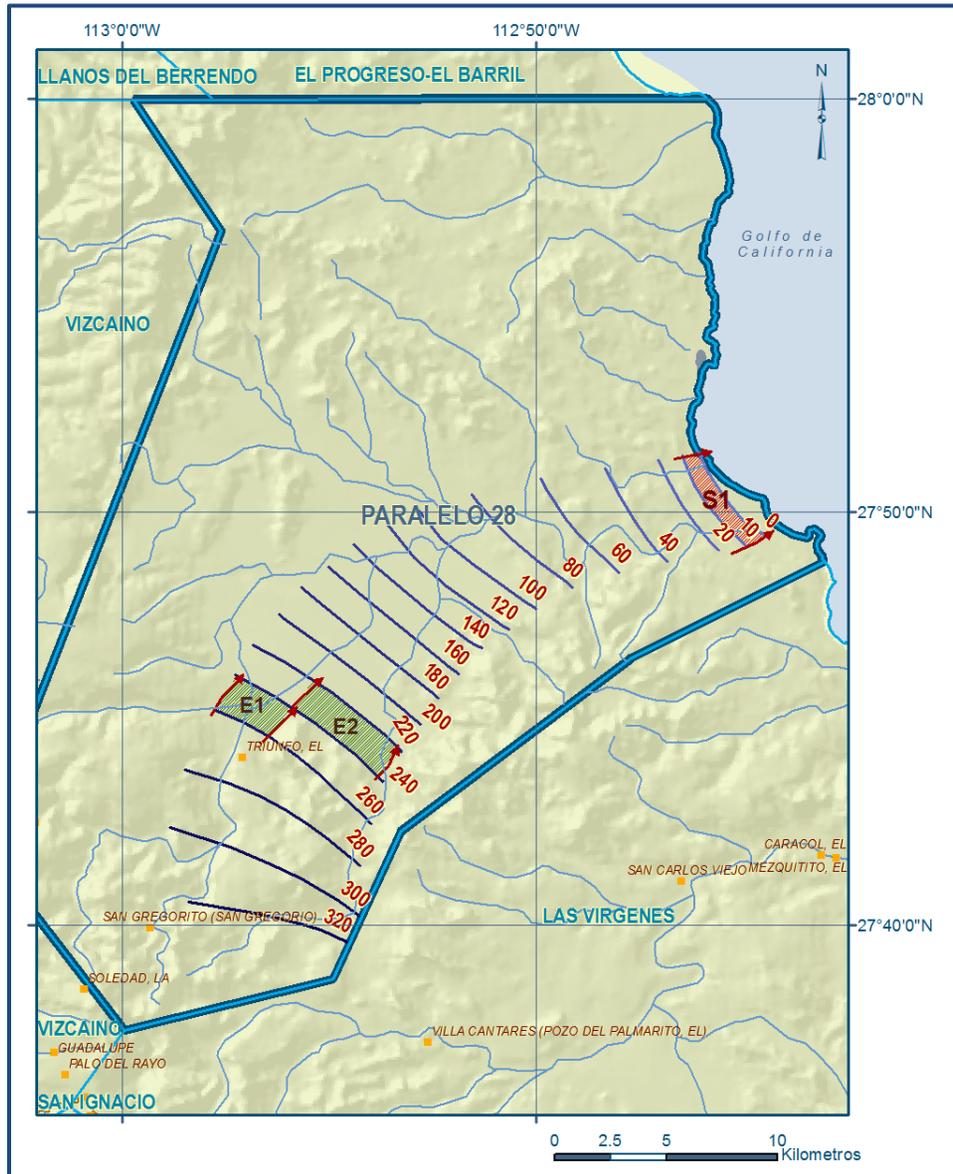


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

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 recientes en el transcurso de muchos años, 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 procede de mediciones *in situ* de la salinidad del agua, en función de la conductividad eléctrica, realizadas en este año 2010 por la Dirección Local de la CONAGUA en Baja California Sur. De ellas se determina que en la zona de exploración se presentan concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) que sobrepasan el máximo permisible de 1000 mg/lit establecido por 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.

De manera general las concentraciones se incrementan de la parte alta del acuífero hacia la costa, en la dirección del flujo subterráneo. Hacia la planicie costera la conductividad eléctrica se incrementa hasta los 5200 $\mu\text{mhos/cm}$ por evaporación e influencia del agua marina.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados reportados en el último censo de pozos realizado en el año 2010, se registraron un total de 4 aprovechamientos, los cuales están inactivos. Por lo tanto, al no estar activos, el volumen de extracción es de **0.0 hm³** anuales. Es importante destacar que de acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), al 31 de marzo de 2010, no existe volumen inscrito en este acuífero.

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 una superficie aproximada de **173 km²**, cubre el área donde se localizan los pozos abandonados.

De esta manera la ecuación de balance propuesta para éste acuífero es la siguiente:

$$\mathbf{Rv + Eh - B - Sh - ETR = \pm \Delta V(S)} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde:

Rv= Recarga vertical;

Eh= Entradas por flujo subterráneo horizontal;

B= Bombeo;

Sh= Salidas por flujo subterráneo horizontal;

ETR= Evapotranspiración real;

$\Delta V(S)$ = 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 (**Rv**) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (**Eh**).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen 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 $R_i = 0 \text{ hm}^3/\text{año}$.

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 (R_v) se obtiene lo siguiente:

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

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:

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

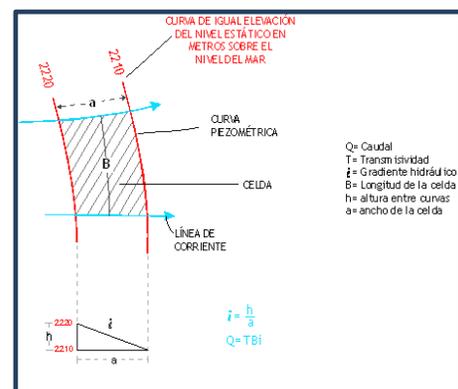
Donde:

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	2580	1760	20	0.011364	0.002	0.058636	1.85
E2	3990	1470	20	0.013605	0.002	0.108571	3.42
Total de entradas =							5.27

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 Vizcaíno y San Ignacio, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas. La entrada subterránea promedio anual es igual a **5.3 $hm^3/año$** .

7.2 Salidas

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

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, no existe extracción por bombeo en el acuífero. Por lo que **B = 0.0**.

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. La única celda de salida se localizó en la parte más baja del área de explotación, hacia el mar.

El valor estimado para este año de análisis se muestra en la tabla 4. El valor de las salidas subterráneas es igual a **4.0 $hm^3/año$** .

Tabla 4. Cálculo de las salidas 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)
S1	4870	770	10	0.012987	0.002	0.012649	4
Total de salidas =							4

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).

Aunque el valor de la evapotranspiración se estima que es pequeño para 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) =	20.8		
P(mm) =	150	P ² =	22500
L =	1269.9456	L ² =	1612761.83
ETR (mm)	156.9		

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 $0.31L = 393.7$, 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.

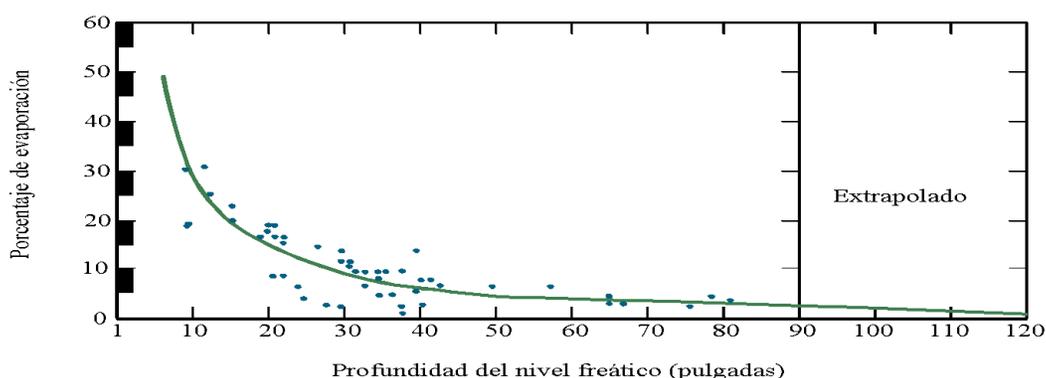


Figura 6. Evaporación del AS expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White.

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, tomada de las mediciones realizadas de la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería (1977) en tanques evaporímetros donde reportan láminas con promedio anual de 2,260 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 31.5 km² de la porción costera del acuífero, donde la profundidad del nivel estático es menor a los 2 m, y un 2% de la evaporación potencial, se tiene que la evaporación es del orden de los **ETR = 1.4 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 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 condiciones, 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:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + ETR - \Delta V(S) - E_h \quad (2) \\ R_v &= 0.0 + 4.0 + 1.4 - 0.0 - 5.3 \\ R_v &= 0.1 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 0.1 + 5.3 \\ R &= 5.4 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

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 **5.4 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 Paralelo 28 se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **4.0 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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua

correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **303 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 aguas subterráneas (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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 5.4 - 4.0 - 0.000303 \\ \text{DMA} &= 1.399697 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **1,399,697 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

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas 1977. Informe final del estudio hidrogeológico de prospección en el valle Paralelo 28, Estado de Baja California Sur. Realizado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería S.A.