



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN JOSÉ DEL CABO (0319), 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	5
3.	FISIOGRAFÍA	6
3.1	Provincia fisiográfica.....	6
3.2	Clima.....	7
3.3	Hidrografía	8
3.4	Geomorfología.....	8
4.	GEOLOGÍA.....	9
4.1	Estratigrafía	10
4.2	Geología estructural	14
4.3	Geología del subsuelo	15
5.	HIDROGEOLOGÍA	16
5.1	Tipo de acuífero	16
5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2	Elevación del nivel estático	18
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	20
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
6.	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	22
7.	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	22
7.1	Entradas	23
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	24
7.1.3	Recarga inducida (Ri).....	25
7.2	Salidas.....	26
7.2.1	Bombeo (B)	26
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	26
7.2.3	Descarga por manantiales (Dm).....	27
7.2.4	Evapotranspiración (ETR)	27
7.3	Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	29
8.	DISPONIBILIDAD	30
8.1	Recarga total media anual (R).....	30
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	30
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	31
8.4	Disponibilidad de aguas subterráneas (DMA)	31
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	33

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 San José del Cabo, definido con la clave 0319 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo sur del Estado de Baja California Sur, entre las coordenadas 23° 01' y 23° 28 de latitud norte y entre los meridianos 109° 32' y 109° 59' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 1,284 km².

Limita al norte con el acuífero Santiago, al este con Cabo Pulmo, al sur con el acuífero Cabo San Lucas y con el Océano Pacífico; al noroeste con el acuífero El Pescadero y al oeste con Plutarco Elías Calles y Migriño (figura 1).

Geopolíticamente, se encuentra ubicado totalmente dentro del municipio de Los Cabos.

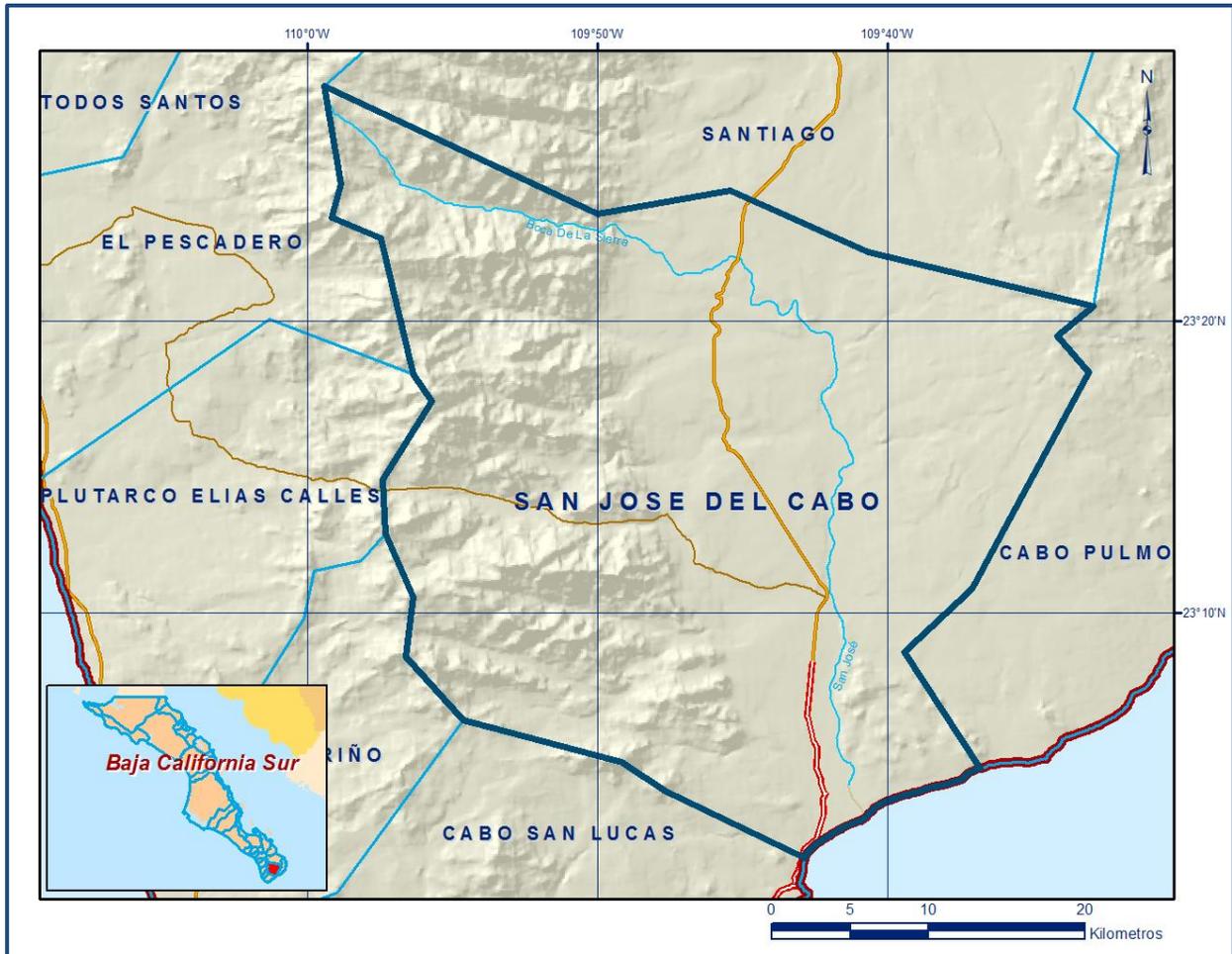


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 0319 SAN JOSE DEL CABO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	19	36	50.1	23	4	42.2	DEL 1AL 2 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
2	19	42	50.5	23	1	38.3	
3	19	47	41.1	23	3	55.9	
4	19	49	9.5	23	4	54.3	
5	19	54	37.9	23	6	22.0	
6	19	56	35.8	23	8	31.0	
7	19	56	21.4	23	10	33.3	
8	19	57	17.9	23	12	44.6	
9	19	57	24.4	23	14	34.8	
10	19	55	43.2	23	17	15.5	
11	19	56	20.7	23	18	12.0	
12	19	57	28.5	23	22	50.7	
13	19	59	10.3	23	23	33.5	
14	19	58	50.1	23	24	42.0	
15	19	59	24.3	23	28	2.1	
16	19	50	0.7	23	23	39.7	
17	19	45	25.4	23	24	29.2	
18	19	40	41.6	23	22	21.7	
19	19	32	55.9	23	20	31.0	
20	19	34	10.2	23	19	30.0	
21	19	33	5.6	23	18	15.7	
22	19	37	5.7	23	10	50.3	
23	19	39	25.9	23	8	41.1	
1	19	36	50.1	23	4	42.2	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero San José del Cabo pertenece al Organismo de Cuenca “Península de Baja California”, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Baja California Sur. Su territorio completo se encuentra vedado y 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 se clasifica como 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 1. El usuario principal del agua es el público-urbano. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Baja California Sur instalado el 3 de marzo del 2000 y dentro de este se integra el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) San José del Cabo, instalado el 21 de octubre de 1998.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se cuenta con pocos estudios hidrogeológicos de evaluación. La mayor parte de la información existente es geológica y estratigráfica a nivel regional como las de las cartas geológico-mineras editadas por el Consejo de Recursos Minerales (hoy Servicio Geológico Mexicano), así como algunos estudios geohidrológicos en acuíferos vecinos Cañada Honda y Los Planes.

Entre los más recientes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO GEOFÍSICO EN LAS ZONAS DE LA PAZ, EL CARRIZAL, ARROYOS SAN JOSÉ DEL CABO Y SANTIAGO, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Elaborado por la empresa GEOFIMEX, S.A. en 1971, cuyo objetivo fue definir la configuración del basamento en los valles de La Paz, Arroyo Cajoncitos y Arroyo San José del Cabo.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE SAN JOSÉ DEL CABO, EN EL TERRITORIO DE BAJA CALIFORNIA. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recurso Hidráulicos (SARH) en 1974 por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería. Su objetivo se centró en predecir el comportamiento del funcionamiento hidráulico del acuífero al explotar los volúmenes del agua subterránea que se escapan hacia el mar, mediante un modelo de simulación simplificado. Las actividades de campo realizadas sirvieron para el planteamiento del balance de aguas subterráneas.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA SAN JOSÉ DEL CABO, B.C.S. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recurso Hidráulicos (SARH) en 1979 por Rocha y Asociados, S.A. de C.V. Mediante actividades de campo que incluyeron censo e hidrometría, piezometría, ejecución de pruebas de bombeo, sondeos geofísicos, nivelación de brocales y obtención de muestras de agua para análisis fisicoquímico, fue posible actualizar el balance de aguas subterráneas y la construcción de un modelo de simulación simplificado para definir el efecto de diferentes escenarios de explotación.

CENSO DE APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS EN EL ACUÍFERO SAN JOSÉ DEL CABO, B.C.S. Realizado por la Subdirección de Asistencia Técnica Operativa, Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur desde el año de 1990 al 2011, con la finalidad de medir la profundidad de los niveles estáticos en los pozos existentes y obtener muestras de agua subterránea para determinar la conductividad eléctrica y la salinidad.

Sus resultados indican que las concentraciones de STD del agua subterránea sobrepasan los valores permitidos para el agua destinada al consumo humano en algunas localidades ubicadas sobre la franja costera; en tanto que en las porciones media y alta de la cuenca el agua es de buena calidad.

ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA PARA LA RECARGA ARTIFICIAL EN EL ACUÍFERO SAN JOSÉ DEL CABO Y SU EVALUACIÓN AMBIENTAL EN EL ECOSISTEMA, SAN JOSÉ DEL CABO, B.C.S. Elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en el 2010 para Organismo Operador Municipal del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Los Cabos (OOMSAPASLC).

Entre sus objetivos destaca la caracterización hidrogeológica entre el acuífero y el estero San José, la actualización de la disponibilidad de agua subterránea, evaluar la factibilidad de recarga artificial del acuífero mediante la infiltración de los volúmenes excedentes de la presa San Lázaro y analizar el efecto de dicha recarga en el sistema acuífero-estero. Para ello se construyeron 4 piezómetros a lo largo del arroyo San José para el monitoreo de la cantidad y calidad del agua.

Estos dos últimos 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 a la clasificación de las Provincias Fisiográficas del INEGI, el acuífero San José del Cabo, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Península de Baja California, Subprovincia Discontinuidad del Cabo, la cual se extiende al sur del Trópico de Cáncer; representa la porción final de la provincia y ocupa una extensión de 7,613 km², que corresponde al 9.8% de la superficie estatal.

Se caracteriza por la presencia de sierras altas con elevaciones máximas que sobrepasan los 2,000 msnm conformadas por rocas ígneas intrusivas que forman montañas con pendientes fuertes y escarpadas cuyas crestas están orientadas en dirección norte-sur, desde el costado oriental de la Bahía de La Paz hasta cerca de Cabo San Lucas.

3.2 Clima

Con base en los datos históricos de precipitación, temperatura y evaporación potencial de las estaciones climatológicas se ubican en esta porción de la península de Baja California Sur y con apoyo en la carta de climas de Köppen, modificada por E. García para las condiciones de nuestro país adaptada a la Región Hidrológica No.6, se establece que en la zona predomina una variedad del grupo de climas muy seco cálido BW(h´)hw(x´), seco semicálido BSohw(w) y templado subhúmedo C(wo).

El clima predominante en la parte topográficamente baja del acuífero y sobre la línea de costa el clima se caracteriza por ser BW (h´) hw (x´) Muy seco cálido con sus variantes, en la zona de los flancos de las sierras y en la porción central del acuífero el clima es de tipo BSohw seco semicálido, BSo(h´)hw seco cálido, BSohw(w) seco semicálido y BS1hw semiseco semicálido; en las regiones más altas de la sierras el clima vuelve a cambiar hasta ser C(wo) y C(w1) templados subhúmedos con lluvias en verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 8 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Caduaño, Yeneka, Cabo San Lucas, San José del Cabo, San Felipe, Santa Anita, El Mangle y San Lázaro cuyo registro comprende los periodos 1942-2010, 1961-2010, 1937-2007 y 1926-2007, 1939-2010, 1973-2010, 1978-2010 y 2002-2009, respectivamente. De acuerdo con estos datos, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura **421.5 mm**, **23.5 °C**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,131.5 mm** anuales, de acuerdo con los datos sólo de las estaciones climatológicas de San José del Cabo y San Felipe.

En general, los valores extremos de temperatura varían de 42°C, registrada en el mes de julio, a -2°C en el mes de febrero; en tanto que para la precipitación fluctúan entre 230.5 a 522.4 mm anuales. La región se caracteriza por presentar periodos prolongados de sequía, que eventualmente son interrumpidos por la incidencia de tormentas tropicales y huracanes.

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

3.3 Hidrografía

La superficie cubierta por el acuífero se ubica entre dos Regiones Hidrológicas: la porción occidental pertenece a la Región Hidrológica No. 3 denominada “Baja California Suroeste (Magdalena), cuenca Arroyo Caracol-Arroyo Candelaria; en tanto que la región central y oriental se ubican en la Región Hidrológica No. 6, “Baja California Sureste”, cuenca La Paz-Cabo San Lucas, que incluye a los acuíferos de toda la porción suroeste de BCS, desde Bahía Concepción hasta Cabo San Lucas.

La región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores altos de precipitación en la zona serrana. Los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia la planicie costera.

Las principales corrientes superficiales ocurren a través de los arroyos El Saltito, San Lázaro, El Guaje, San Miguelito, La Palma, Caduaño, Boca de La Sierra, El Guayparín y El Peyote, todos afluentes del Arroyo San José, que drena la cuenca hasta desembocar finalmente al mar.

Sobre la desembocadura de los arroyos San Felipe y El Guaje, se encuentra ubicada la presa San Lázaro, que es la única obra de infraestructura hidráulica para el almacenamiento y control de las corrientes superficiales. En general el patrón de drenaje presenta variaciones relacionadas con la litología y la topográfica, predominan los patrones paralelos, subparalelos y dendríticos.

3.4 Geomorfología

La geomorfología regional del bloque Los Cabos está dominada por geoformas tectónicas que difieren marcadamente de la provincia geomorfológica del centro del área peninsular. Está constituida por una cordillera central montañosa con orientación N-S, la cual forma el espinazo de la región. La cordillera está limitada en sus flancos por márgenes rectilíneos que sugieren la presencia de fallas de alto ángulo de las cuales se infiere un gran desplazamiento, desarrollando un paisaje geomorfológico de bloque fallado. Las regiones de Santiago y San José del Cabo forman una planicie alargada en dirección norte-sur con respecto al Océano Pacífico, al oeste la zona está delimitada por las Sierras La Laguna, San Lorenzo y San Lázaro, que juntas forman La Sierra La Victoria cuyas cimas sobrepasan los 1,600 m; al este por los cerros El Mangle, Venado y Coche, que forman La Sierra La Trinidad, con alturas de más de 600 m.

La porción norte está disectada por el arroyo Santiago y la parte media y baja por el arroyo San José. Movimientos epirogénicos relacionados a la apertura del golfo permitieron el desarrollo de estructuras tectónicas relativamente recientes que son las responsables de las características geomorfotectónicas del actual bloque Los Cabos. Los rasgos geomorfológicos presentes en el área están representados por sierras altas en sus márgenes este y oeste, mesetas complejas con cañadas en la zona centro y norte, una llanura aluvial que comprende el cauce del arroyo San José y lomeríos escarpados con cañadas en la porción suroeste del acuífero.

4. GEOLOGÍA

Dentro del contexto geológico regional, el área del acuífero se ubica en una región cuya historia geológica inicia en el Cretácico Inferior, tiempo en el cual ocurrió el emplazamiento de cuerpos intrusivos graníticos, a lo largo de la franja costera de Sonora hasta Jalisco, asociadas a un ambiente de subducción arco-trinchera. En este tiempo Baja California se encontraba unida a territorio mexicano y su separación ocurrió en el Mioceno.

Los aspectos geológicos de la porción occidental son eminentemente discontinuos, en ella se localiza la sierra cristalina San Lorenzo, hacia el norte, y San Lázaro al sur, constituidas por rocas de tipo ígneo-metamórfico (granito, monzonita, gneis y esquisto micáceo), pertenecientes al Complejo Batolítico de Baja California. En la porción central y noreste yacen los depósitos sedimentarios de origen continental y marinos, que dominan casi la totalidad del área en estudio. La distribución de las diferentes unidades litológicas se presenta en la figura 2.

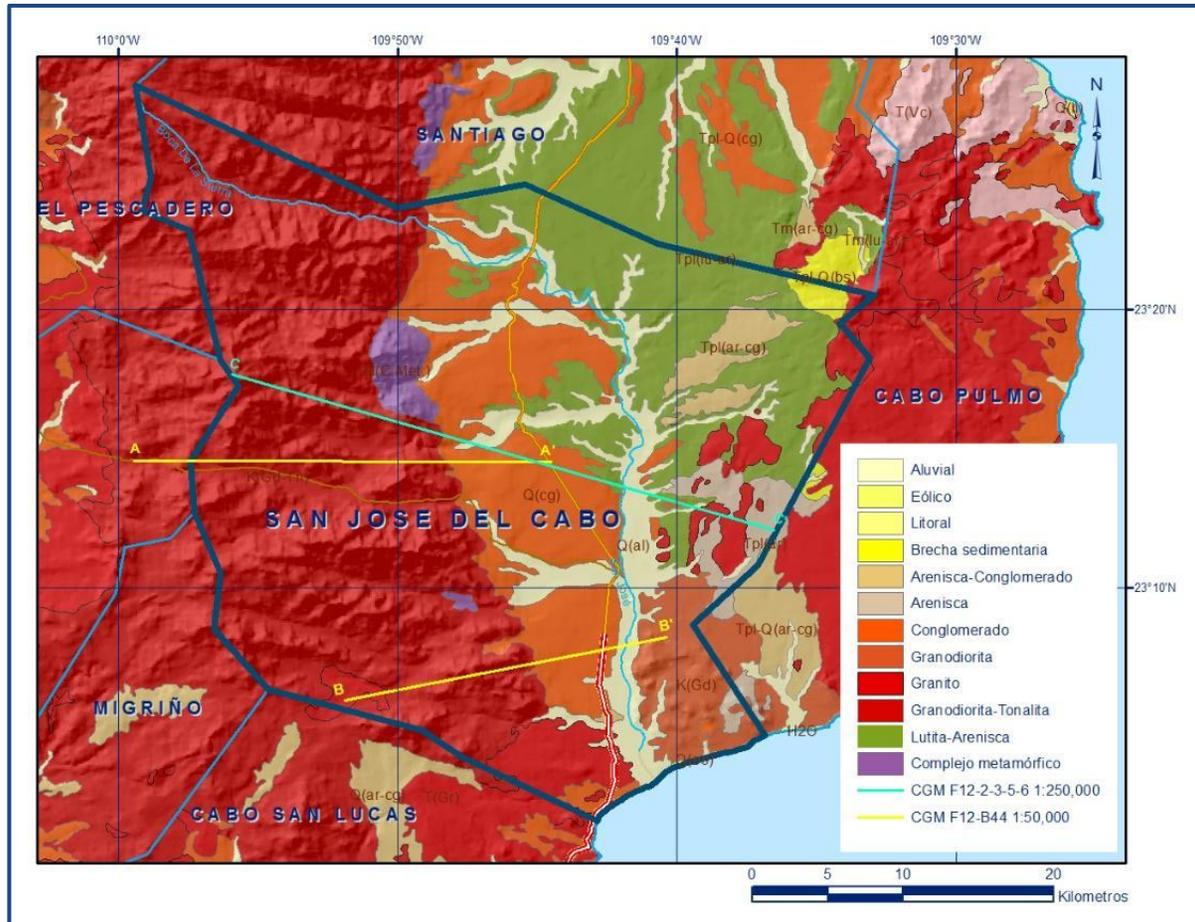


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

De acuerdo con la identificación de las unidades litológicas que afloran en la región, se observa que existen rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyo rango cronoestratigráfico comprende del Cretácico Tardío al Reciente. A continuación, se presenta la descripción de las distintas unidades cronoestratigráficas, de la más antigua a la más reciente:

Complejo metamórfico

La unidad litológica más antigua corresponde con rocas metamórficas, principalmente esquistos de biotita y gneis anfibolítico que afloran como remanentes metasedimentarios o posiblemente techos colgantes en diferentes partes de la zona (Carta Geológico-Minera F12-B44 "San José del Cabo" Esc. 1:50 000, SGM 2008). En su mayoría estas rocas metamórficas tienen una probable edad Cretácico. Posiblemente los protolitos de estas rocas metamórficas fueron depósitos siliciclásticos (lodolitas y areniscas) de cuencas marinas.

Aflora en la porción occidental y centro-oriental del área. Comprende rocas con metasomatismo de contacto y regional como gneis y esquistos micáceos. Se le atribuye una edad Cretácico Tardío por los efectos laramídicos que presenta.

Granodiorita-Tonalita

Estas rocas se distribuyen principalmente en la zona occidental del acuífero, constituyendo la Sierra La Laguna. Tienen color gris, textura fanerítica fina a mediana y se estima una edad cretácica. Esta unidad está en contacto con los depósitos sedimentarios de la cuenca San José.

Granodiorita

Esta unidad se encuentra ubicada en la zona oriente del acuífero, formando la Sierra La Trinidad. Su textura principal es fanerítica mediana a gruesa. Se le asigna una edad correspondiente Cretácico Superior. Aflora en gran parte del acuífero y se le conoce con el nombre de granodiorita San Carlos (según el rancho del mismo nombre en la carta San José del Cabo). Son rocas de color claro (más claro que la tonalita San Vicente) y de textura fanerítica mediana-gruesa. Prácticamente no tiene enclaves y escasamente se observa foliación magmática. Mineralógicamente la roca está compuesta principalmente por cuarzo y plagioclasa, además de poco feldespato alcalino, biotita y hornblenda.

En otra zona la granodiorita aflora en un pedimento disectado y muy intemperizado. Hacia el sureste el pedimento sucesivamente se encuentra cubierto por depósitos recientes de terrazas pleistocénicas.

Se presenta en extensos afloramientos en la región occidental del acuífero y de manera discontinua a lo largo de la costa entre Cabo San Lucas y San José del Cabo. Son rocas de composición granítica (granito Santa María), de coloración rosada clara debido a su marcado contenido de feldespato alcalino.

Generalmente presentan una textura fanerítica mediana a gruesa, aunque en la zona de Cabo San Lucas (cerro La Cruz hasta Cabo Falso) también se observa pórfido granítico con textura vítrea porfirítica. Mineralógicamente la unidad se compone de cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino, poca biotita y hornblenda. Las relaciones de campo demuestran que son más jóvenes que las demás rocas intrusivas, en el área de Cabo San Lucas se interpretan como apófisis formados en un nivel relativamente somero en la corteza.

Son comunes los diques de composición félsica (granítica, aplítica y pórfidos graníticos) y andesítica-microdiorítica. Los diques se encuentran en toda el área donde afloran rocas intrusivas, con rumbos variables y espesores de varios metros; la mayoría de ellos probablemente tienen una edad de Cretácico Superior; algunos diques andesíticos posiblemente son del Terciario.

En general, las rocas metamórficas e intrusivas están genéticamente relacionadas con el arco magmático que existió en el noroeste de México desde el Cretácico hasta el Terciario. En el área del acuífero no se registran rocas del Terciario (con la posible excepción de algunos diques).

Conglomerado

Se presenta en estratos de espesor potente a mediano, como es el caso de los afloramientos localizados sobre el arroyo La Trinidad, ubicado al norte del rancho El Encinar; donde se observan secciones claras con clastos grandes (hasta de 1.0 m) de rocas intrusivas, en una matriz de arenas cuarcíferas de grano grueso con alternancias arcillosas. En la zona oriente del arroyo Los Pocitos, se puede apreciar esta unidad en su fase superior, caracterizada por la mayor variedad de cantos irregulares en tamaño, trabajo y composición (dioritas, monzonitas, tobas dacíticas y andesitas) en una matriz más arcillosa y ocupando menor porcentaje del volumen total.

La permeabilidad de esta unidad se considera de buena a media, pero su reducida distribución le confiere poco interés hidrogeológico; sin embargo, cuando las condiciones tanto topográficas como estructurales son favorables, es factible el almacenamiento de agua subterránea.

Arenisca Conglomerática

Esta unidad litológica posee características sedimentarias que la distinguen de la anterior.

Es posible que pertenezcan a la misma época de acarreo y depositación, solo que en una fase más reciente y menos turbulenta y por lo tanto con mayor contenido de arenas y finos.

Está constituida básicamente por fragmentos de cuarzo y feldespatos cementados por arcilla fina y oxidada que le da una tonalidad rojiza.

Los cantos rodados son de origen intrusivo con tamaños hasta de 50 centímetros y con buena redondez, los estratos tienen un espesor de 5 a 10 m; aflora de manera aislada en una franja orientada de norte a sur en el extremo centro oriental, a unos 3 km al este del rancho El Refugio. Presenta baja permeabilidad.

Lutita-Arenisca

Corresponden por sus características sedimentarias, a una época geológica en la que se presentaron dos fases de depositación marcadas por sus componentes clásticos; una areno-conglomerática y otra fase arcillo-arenosa. La primera está representada por la predominancia de horizontes marinos de carácter arenoso de grano grueso a medio, que se intercalan con otros que contienen clastos en mayor o menor proporción; éstos están separados por depósitos de arcillas que marcan los planos de estratificación. El contenido de arcillas plásticas en la matriz le confiere cierta compactación.

A diferencia de la anterior la fase arcillo-arenosa, como su nombre lo indica, se distinguen fácilmente por su composición general de limos y arcillas plásticas. Estas pueden alternar o mezclarse con arenas de grano fino y algunos horizontes delgados de yeso. Estas unidades presentan baja permeabilidad.

El agua que se precipita sobre ellas escurre superficialmente o se infiltra en algún horizonte arenoso, formando pequeños acuíferos colgados.

Terrazas Arenosas

Esta unidad arenosa junto con las dos anteriores aflora ampliamente en la parte baja del acuífero. Corresponde con depósitos recientes formados por un conjunto mal clasificado de arenas cuarcíferas finas a gruesas y deleznable, que se intercalan con capas de fragmentos de roca poco transportada y cementada.

El contenido de arcillas y limos es relativamente escaso. La unidad es de poca importancia hidrogeológica debido a que a pesar de su buena permeabilidad, el agua infiltrada fluye hacia las zonas de acarreos fluviales impidiendo la formación de acuíferos.

Depósitos Fluviales

Se designa con este término a los sedimentos continentales depositados en los cauces de los arroyos principales o bien rellenando las planicies aluviales.

Están conformados por interdigitaciones de arenas, limos y gravas de espesores variables, que se encuentran cubriendo discordantemente a las rocas previamente formadas en el Cretácico.

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.

La falla San José del Cabo, que define el límite del valle aluvial con las elevaciones montañosas de la Sierra La Laguna, es la mayor morfoestructura en la región, con una dirección preferencial NNW-SSE; presenta varias deflexiones que la dividen en varios segmentos que indican cambios de dirección sistemática, rasgos topográficos y se manifiesta por la presencia de escarpes formado en el Cuaternario. El relieve en la sierra fluctúa de la cota 350 a los 1,800 msnm y se distingue por angostos y profundos valles asociados con lineamientos estructurales que tienen una dirección preferencial NW-W.

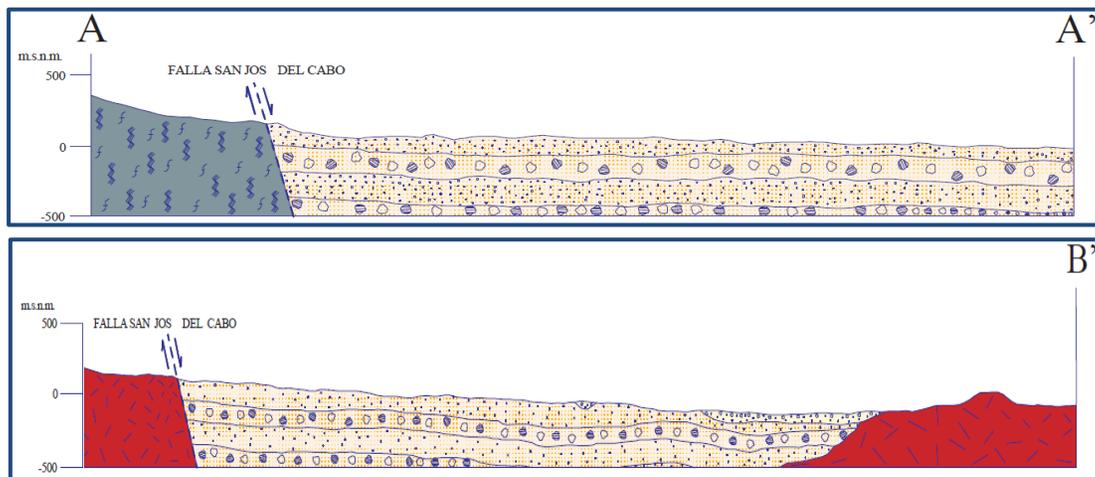
Los abanicos aluviales formados en el piedemonte no están cortados por la falla y se extienden hacia algunos cañones, por ejemplo, Portezuelo, La Palma y San Lázaro.

Los patrones fluviales que prevalecen en las cuencas son dendrítico, paralelo y subparalelo, controlados por alineamientos estructurales (diaclasas, diques y fallas) y la composición litológica del basamento.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información de los cortes litológicos de pozos, registros geofísicos, sondeos eléctricos verticales y las evidencias de campo, es posible definir que el acuífero es de **tipo libre** y heterogéneo, alojado en su porción superior, en sedimentos cuaternarios no consolidados como arenas gravas, arenas y boleos; conglomerados y areniscas. Los materiales tienen excelente permeabilidad y se encuentran restringidos a los cauces de los arroyos, principalmente el San José. La porción inferior está conformada por las rocas ígneas y metamórficas que presentan fracturamiento y alteración.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento están constituidas por las rocas ígneas intrusivas (granitos, granodioritas y dioritas) y metamórficas (gneis y esquistos), cuando a profundidad desaparece el fracturamiento y la alteración. En la figura 3 se muestran secciones geológicas esquemáticas de la cuenca, en las que se observa el espesor de los sedimentos y sus fronteras laterales.



Fuente: SGM (2008). Carta geológico-Minera F12B44, San José del Cabo, escala 1:50,000

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información hidrogeológica, geofísica y piezométrica, es posible identificar que el acuífero es de **tipo libre** y está constituido, en su porción superior, por sedimentos aluviales y fluviales depositados tanto en los subálveos de los arroyos San Bartolo, El Cardonal y Boca del Álamo, como a lo largo del arroyo San José, así como conglomerados y areniscas.

La porción inferior está conformada por las rocas ígneas y metamórficas que presentan fracturamiento y alteración. En conjunto los materiales presentan buena permeabilidad.

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 del arroyo San José y sus tributarios. Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual no es muy alto, la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos como huracanes, tormentas y depresiones tropicales, así como las lluvias de temporada, tienen un efecto muy importante sobre la recarga subterránea del acuífero, siendo evidente en muchos casos la rápida recuperación de los niveles del agua subterránea.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de estudios previos se realizaron algunas pruebas de bombeo de corta duración; de acuerdo con su interpretación por métodos analíticos convencionales se observa que los valores de transmisividad varían en un rango muy amplio, de **1.0 a $192.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** , en función del espesor y la granulometría de los materiales que conforman el acuífero. Los valores más altos de transmisividad y caudal específico corresponden a pozos localizados en la porción media del valle, donde se encuentran los mayores espesores del relleno y la granulometría más gruesa. Valores comparativamente bajos, probablemente reflejan condiciones locales o corresponden a la parte superior del relleno.

En general, el rendimiento de los pozos confirma la extraordinaria capacidad transmisora del acuífero, ya que son comunes los caudales específicos entre 10 y 50 lps/m, a pesar de que su profundidad total es menor de 70 m en casi todos los casos. Por el contrario, la transmisividad del relleno en el subsuelo de las terrazas es sumamente baja, ya que pozos exploratorios con profundidades de 200 a 300 m proporcionaron caudales específicos menores de 1 lps/m.

Es importante mencionar que se carece de información respecto a la transmisividad del acuífero en la porción alta de la cuenca, dado que la gran mayoría de las captaciones ahí emplazadas son norias someras no equipadas. Respecto al coeficiente de almacenamiento, se infiere de los cortes geológicos que en los valles fluviales el acuífero se comporta como libre. Por tanto, dicho coeficiente es aproximadamente igual a su rendimiento específico, característica que en materiales de grano grueso varía de **0.15 a 0.20**.

5.3 Piezometría

Con respecto a la información piezométrica, se dispone de información para el periodo 1990-2011, generada por la Dirección Local en Baja California Sur durante sus campañas de piezometría.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2011 se puede observar que los valores varían de 2.0 a 25.0 m, por efecto de la topografía, incrementándose desde las inmediaciones de la zona costera, a lo largo del cauce del arroyo San José (figura 4). La zona de menor profundidad al nivel del agua se registra en uno de los pozos agua potable del OOMSAPAS Los Cabos que abastece la Ciudad de San José del Cabo, que se localiza cerca de la desembocadura del arroyo San José, mientras que los valores de mayor profundidad se localizan sobre el cauce del arroyo San Miguelito, aproximadamente a 4 km al oeste del poblado Santa Anita.

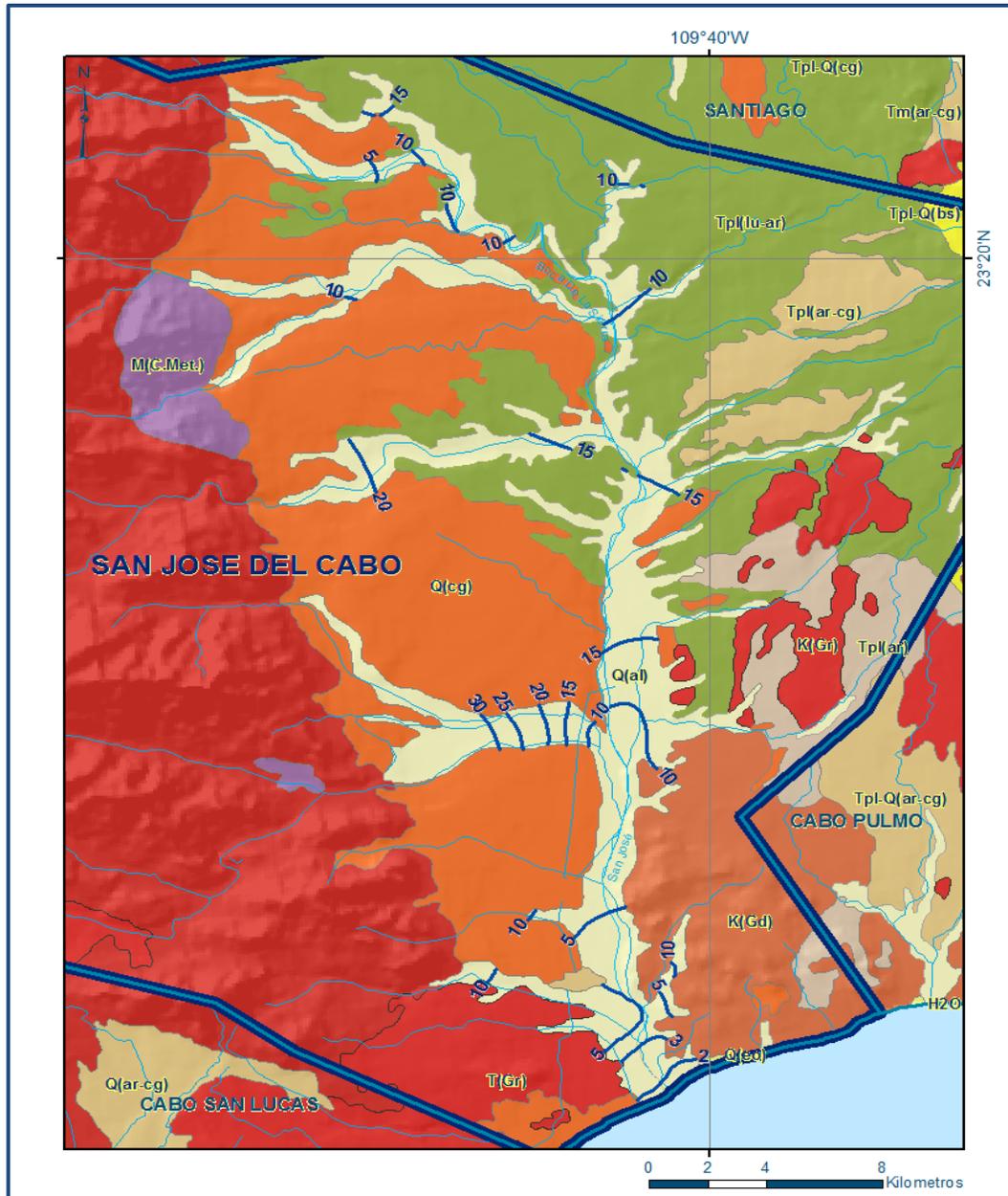


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2011)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático para el año 2011, los valores varían de poco menos de 1 msnm hasta los 250 msnm. Se observa claramente el efecto de la topografía, con los valores más bajos hacia la planicie costera y los valores más altos en la porción oeste del acuífero, conforme se asciende topográficamente a lo largo del curso del arroyo San José, mostrando de esta manera que la dirección preferencial del flujo subterráneo de norte a sur hasta descargar en el

Océano Pacífico (figura 5). La configuración de la elevación del nivel estático permite evidenciar que el flujo subterráneo no ha sufrido modificaciones causadas por la concentración de pozos o del bombeo.

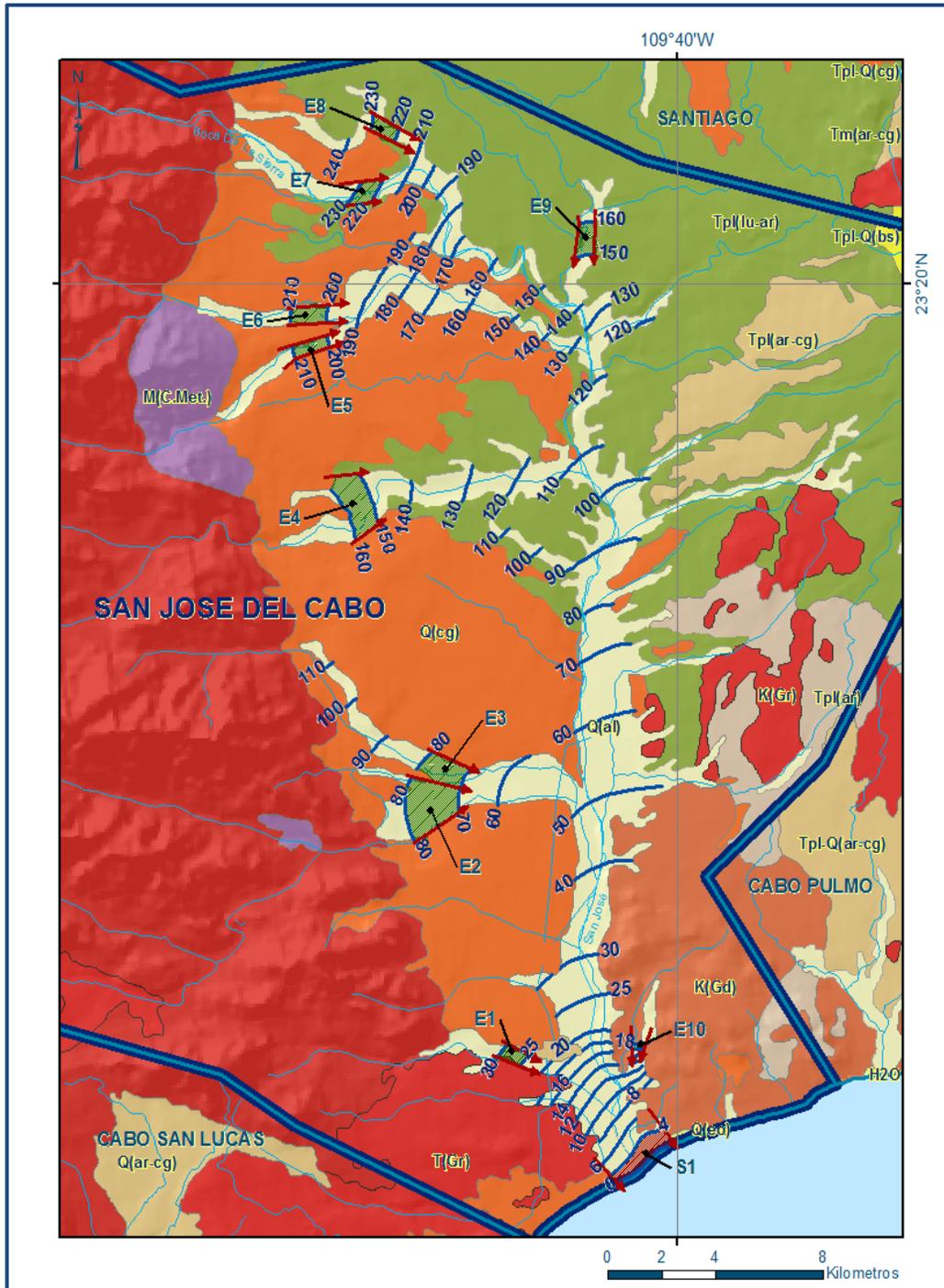


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2011)

5.4.3 Evolución del nivel estático

De la evolución del nivel estático para el periodo 2010-2011 se observa que se presentan abatimientos de 1 a 2.5 m en la zona del área de balance. La zona de recuperación se localiza hacia las estribaciones de la sierra, sobre el arroyo Boca de La Sierra, específicamente en el predio El Palmar, ubicado al este de la localidad Miraflores (figura 5).

En la superficie restante del acuífero, los niveles muestran una evolución del nivel estático descendente ubicando la zona de mayor abatimiento en el predio El Copalar del ejido El Ranchito, localizado al norte del acuífero.

Los abatimientos se han originado por la intensiva extracción de agua para uso público-urbano que durante los periodos de sequía son la única fuente de abastecimiento. A pesar de esto, la incidencia de las lluvias ciclónicas favorece su rápida recuperación.

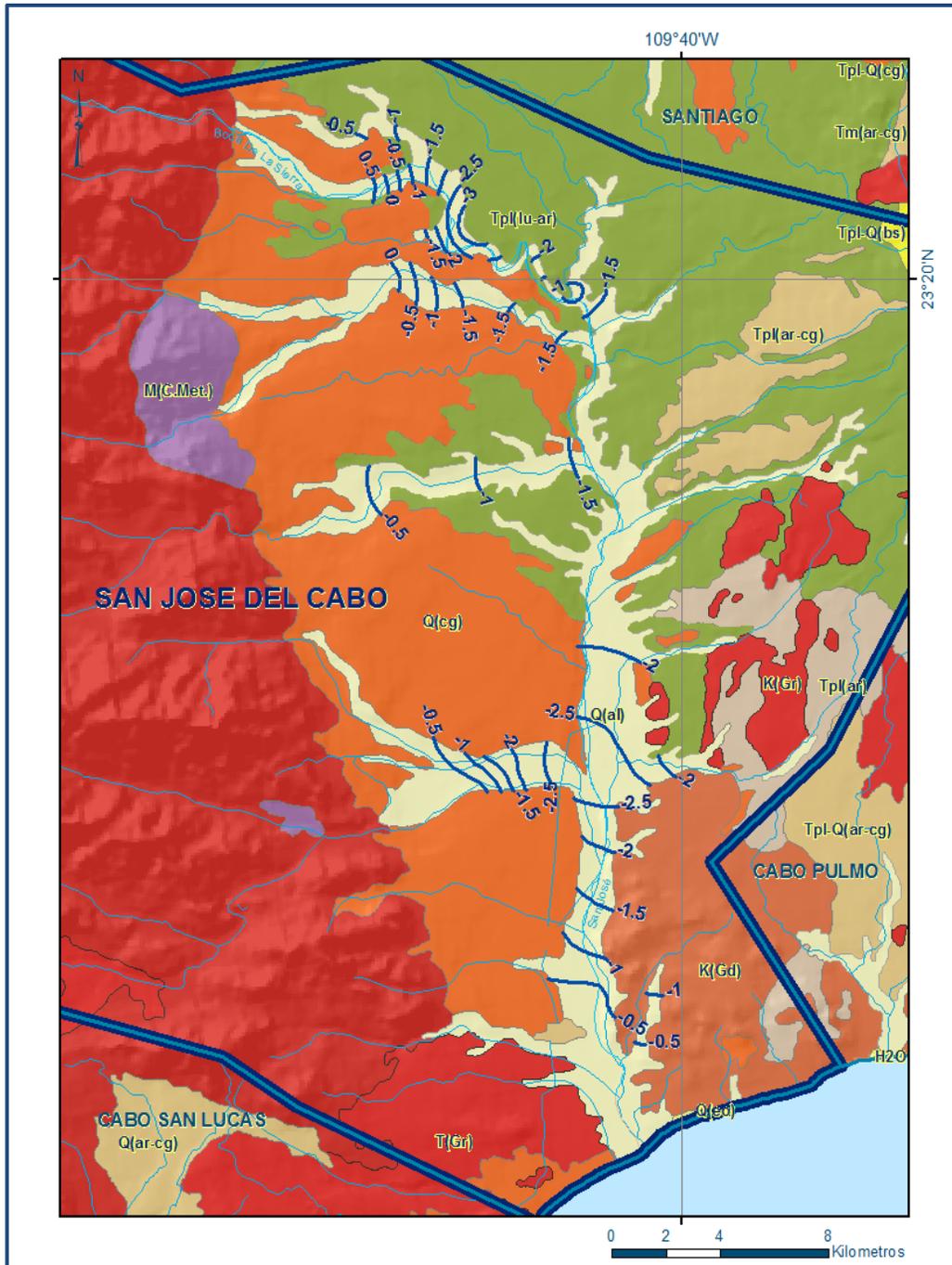


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2010-2011)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los estudios previos, se cuenta con los resultados de análisis fisicoquímicos, cuyas determinaciones incluyeron iones mayoritarios; conductividad eléctrica, pH, dureza total, alcalinidad y sólidos totales disueltos.

Con respecto a la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis, se determina que las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) son menores a 600 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”.

Las familias del agua predominantes son bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica y bicarbonatada mixta. En todos los casos, representan agua de reciente infiltración, con periodos de residencia muy cortos.

Por otra parte, el Instituto de Ingeniería de la UNAM realizó de noviembre de 2009 a enero de 2010 obtuvo muestras de agua para el análisis de calidad en piezómetros recién instalados, pozos, norias, un manantial, en el agua superficial de la presa San Lázaro y en el Estero San José; determinando que la calidad de agua del agua subterránea está dentro del límite máximo permisible 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

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado por la Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua en Baja California Sur en el 2011, se registró la existencia de 406 aprovechamientos, de los cuales 55 son pozos, 345 norias y 6 manantiales. Del total de aprovechamientos, 266 se encuentran activos y 140 inactivos. El volumen de extracción calculado asciende a **29.0 hm³ anuales**, de los cuales 22.0 hm³ (75.9%) se destinan al uso público-urbano, 6.0 hm³ (20.7%) para uso agrícola, 0.5 hm³ (1.7%) de servicios, y los 0.5 hm³ restantes (1.7%) para uso pecuario-doméstico.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el año periodo 2010-2011, en una superficie aproximada de **100 km²** en la que están dispersos los aprovechamientos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

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

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en los sedimentos arenosos y conglomeráticos de las formaciones que lo constituyen, a lo largo de los escurrimientos superficiales (R_v) y la que proviene de zonas montañosas 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 y de la red de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i).

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. Este término es uno de los que mayor incertidumbre implica su cálculo.

Debido a que se cuenta con información para calcular el cambio de almacenamiento, así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Dónde:

- Rv** = Recarga vertical;
- Eh** = Entradas subterráneas por flujo horizontal;
- Ri** = Recarga Inducida
- B** = Bombeo;
- Sh** = Salidas subterráneas por flujo horizontal;
- Dm** = Descarga por manantiales;
- ETR** = Evapotranspiración;
- $\Delta V(S)$** = Cambio en el volumen almacenado;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

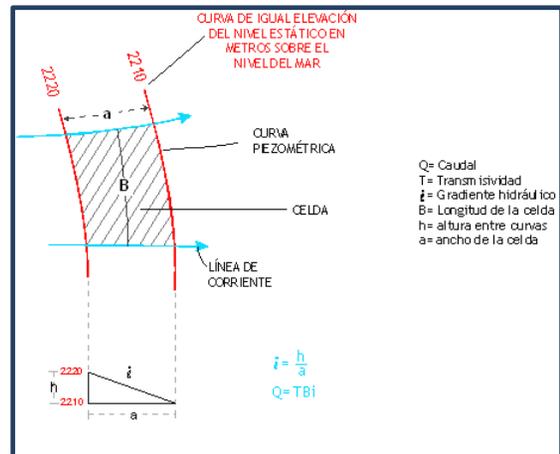
La recarga del acuífero tiene su origen por la precipitación sobre las zonas topográficamente más altas del área y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra a través de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos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

$$Q = T * B * i$$

Dónde:

- Q** = Caudal (m^3/s)
- T** = Transmisividad (m^2/s)
- B** = Longitud de la celda (m)
- i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)



Con base en la configuración de elevación del nivel estático para el año 2011 (figura 5) se seleccionaron las celdas de entrada de flujo subterráneo de acuerdo a la geología.

Particularmente se ubicaron sobre los cauces de los arroyos El Saltito, San Lázaro, San Miguelito, La Palma, San Ignacio, San Pedro, Boca de La Sierra y El Pilón, ya que son las áreas más favorables para la infiltración.

El caudal de entrada por flujo subterráneo horizontal calculado para este año se muestra en la tabla 2. El volumen total promedio de entradas por flujo subterráneo asciende a **30.0 hm³/año**.

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en los estudios previos, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2011)

Canal	Largo (B) (m)	Ancho (a) (m)	h ₂ - h ₁ (m)	Gradiente hidráulico i (m)	T (m ² /s)	Caudal Q (m ³ /s)	Volúmen (hm ³ /año)
E1	520	850	5	0.005882	0.012	0.037624	1.2
E2	1580	1870	10	0.005348	0.012	0.103925	3.3
E3	920	1500	10	0.006667	0.012	0.075440	2.4
E4	2180	970	10	0.010309	0.012	0.276433	8.7
E5	360	1270	10	0.007874	0.012	0.034866	1.1
E6	690	1300	10	0.007692	0.012	0.065285	2.1
E7	860	680	10	0.014706	0.012	0.155559	4.9
E8	630	950	10	0.010526	0.012	0.081568	2.6
E9	610	1150	10	0.008696	0.012	0.065243	2.1
E10	460	220	2	0.009091	0.012	0.051436	1.6
Total de Entradas							30.0

7.1.3 Recarga inducida (R_i)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen por concepto de los excedentes del riego y de la infiltración de las fugas de la infraestructura hidráulica de conducción del agua potable y/o de alcantarillado de San José del Cabo. Para el caso del agua destinada al uso agrícola, aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Para este caso particular, no se cuenta con información de superficies y láminas de riego por cultivo; sin embargo, debido a la profundidad a la que se localiza el nivel del

agua en la zona agrícola, se considera que el 20% del volumen utilizado en la agricultura (6.0 hm³ anuales) recarga de manera efectiva al acuífero.

Para el caso de la red de agua potable y de alcantarillado de San José del Cabo, se considera que un 20% del volumen de agua destinada al abastecimiento público-urbano (22.0 hm³ anuales) recarga al acuífero.

De esta manera, si consideramos que del volumen conjunto de agua para uso público-urbano y agrícola (28.0 hm³ anuales) y el 20 % recarga de manera efectiva el acuífero, el valor de la recarga inducida es **Ri= 5.6 hm³ anuales.**

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por salidas horizontales (Sh) hacia el mar, a través de manantiales (Dm), y por evapotranspiración directa en las zonas de niveles freáticos someros (ETR); de manera artificial por medio del bombeo (B).

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **29.0 hm³ anuales.**

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de las configuraciones de elevación del NE del año 2011 mostrada en la figura 5. Las celdas de salidas se localizaron sobre la desembocadura del arroyo San José del Cabo y en el manantial de Santa Rosa.

El valor estimado para cada celda se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2011).

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i (m)	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	2720	520	2	0.00385	0.012	0.12554	4.0
Total entradas							4.0

El valor promedio anual de las salidas subterráneas es igual a **4.0 hm³/año.**

7.2.3 Descarga por manantiales (Dm)

Este componente corresponde a la descarga natural a través del manantial “Santa Rosa” que alimenta al arroyo San José, cuyo escurrimiento descarga en el Estero San José.

El aforo realizado en 2011 arrojó un valor promedio de 180 lps, que equivale a **5.7 hm³ anuales**.

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

$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	23.5		
P(mm) =	421.5	P ² =	177662.25
L =	1536.39375	L ² =	2360505.76
ETR (mm)	426.8		

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 = 476.3, 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 y la evapotranspiración de las plantas presentes en el Estero.

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 7.

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 (2131.5 mm obtenido como promedio del valor registrado de las estaciones climatológicas San José del Cabo y San Felipe).

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 7 se deduce que para una profundidad al NE de 3 m (1180 pulgadas) el % de evaporación es del 3%. Considerando una superficie promedio de 17.0 km² de la porción ubicada entre el manantial Santa Rosa y el Estero San José, donde la profundidad al NE es en promedio menor a 5 m, el valor de la evaporación es del orden de los **1.1 hm³ anuales**.

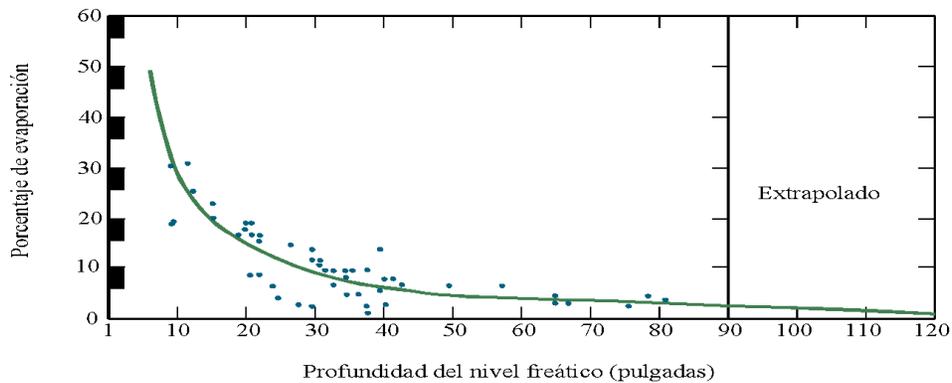


Figura 7. Evaporación del Agua subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático según White

Evaporación potencial media anual (m)	Área (km ²)	% de la Evaporación Potencial	Volumen Evaporación (hm ³ /año)
2.1315	17.0	0.03	1.1

Por lo tanto, el valor de la evaporación es igual a **ETR = 1.1 hm³/año**.

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2010-2011 mostrada en la figura 6.

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.15 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

S= Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

A= Área entre curvas de igual evolución del nivel estático (km^2);

h= Valor medio de la variación piezométrica en el período (m);

Si consideramos que en la superficie de balance de 125 km^2 el valor de la evolución media es de -0.21 m y un rendimiento específico de 0.15, el valor del cambio de almacenamiento es $\Delta V(S) = 0.15 (125 \text{ km}^2) (-0.21 \text{ m}) = -3.9$.

Por lo tanto, **$\Delta V(S) = -3.9 \text{ hm}^3$ anuales.**

Solución de la ecuación de balance

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

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

$$R_v = 29.0 + 4.0 + 1.1 + 5.7 - 3.9 - 30.0 - 5.6$$

$$R_v = 0.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_i$$

$$R = 0.3 + 30.0 + 5.6$$

$$R = 35.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **35.9 hm³/año**, de los cuales 30.3 hm³ son recarga natural y 5.6 hm³ recarga inducida.

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 San José del Cabo se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **10.8 hm³ anuales**, de los cuales 4.0 hm³ corresponden a las salida por flujo subterráneo hacia el mar para mantener la posición de la interface marina, 5.7 hm³ a la descarga del manantial de Santa Rosa, comprometida como flujo base de agua superficial que debe drenar aguas abajo hacia el estero para sostener el gasto ecológico y los 1.1 hm³ restantes a la evapotranspiración que debe comprometerse para preservar el ecosistema ribereño del Estero San José del Cabo.

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 **37,593,828 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 35.9 - 10.8 - 37.593828 \\ \text{DMA} &= -12.493828 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **12,493,828 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1971. Estudios Geofísicos en las Zonas de La Paz, El Carrizal, Arroyo San José del Cabo y Santiago, en el territorio de Baja California Sur. Realizado por GEOFIMEX, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1974. Estudio Geohidrológico del Valle de San José del Cabo, en el territorio de Baja California. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. de C.V.