



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LOS PLANES (0323), 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	3
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	8
4. GEOLOGÍA	9
4.1. Estratigrafía	10
4.2. Geología estructural	12
4.3. Geología del subsuelo	13
5. HIDROGEOLOGÍA	14
5.1. Tipo de acuífero	14
5.2. Parámetros hidráulicos	15
5.3. Piezometría	15
5.4. Comportamiento hidráulico	16
5.4.1. Profundidad al nivel estático	16
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	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	21
7.1. Entradas	22
7.1.1. Recarga vertical (Rv)	22
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	23
7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salobre (Es)	23
7.2. Salidas	24
7.2.1. Bombeo (B)	24
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	24
7.2.3. Salidas de agua salobre por bombeo (Ssb)	24
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	25
8. DISPONIBILIDAD	26
8.1. Recarga total media anual (R)	26
8.2. Descarga natural comprometida (DNC)	26
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	27
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	27
9. BIBLIOGRAFÍA	29

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 Los Planes, definido con la clave 0323 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción suroriental del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 23°39'56” y 24°13'01” de latitud norte y entre los meridianos 109°50'49” y 110°07'54” de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1,013 km².

Limita al noroeste con los acuíferos La Paz y El Coyote; al este y sureste con San Bartolo; al sur con San Bartolo y Cañada Honda; al suroeste con El Carrizal y al oeste con el acuífero La Paz. Al norte su límite natural es el Golfo de California (figura 1). Geopolíticamente, la superficie completa del acuífero se localiza dentro del municipio La Paz.

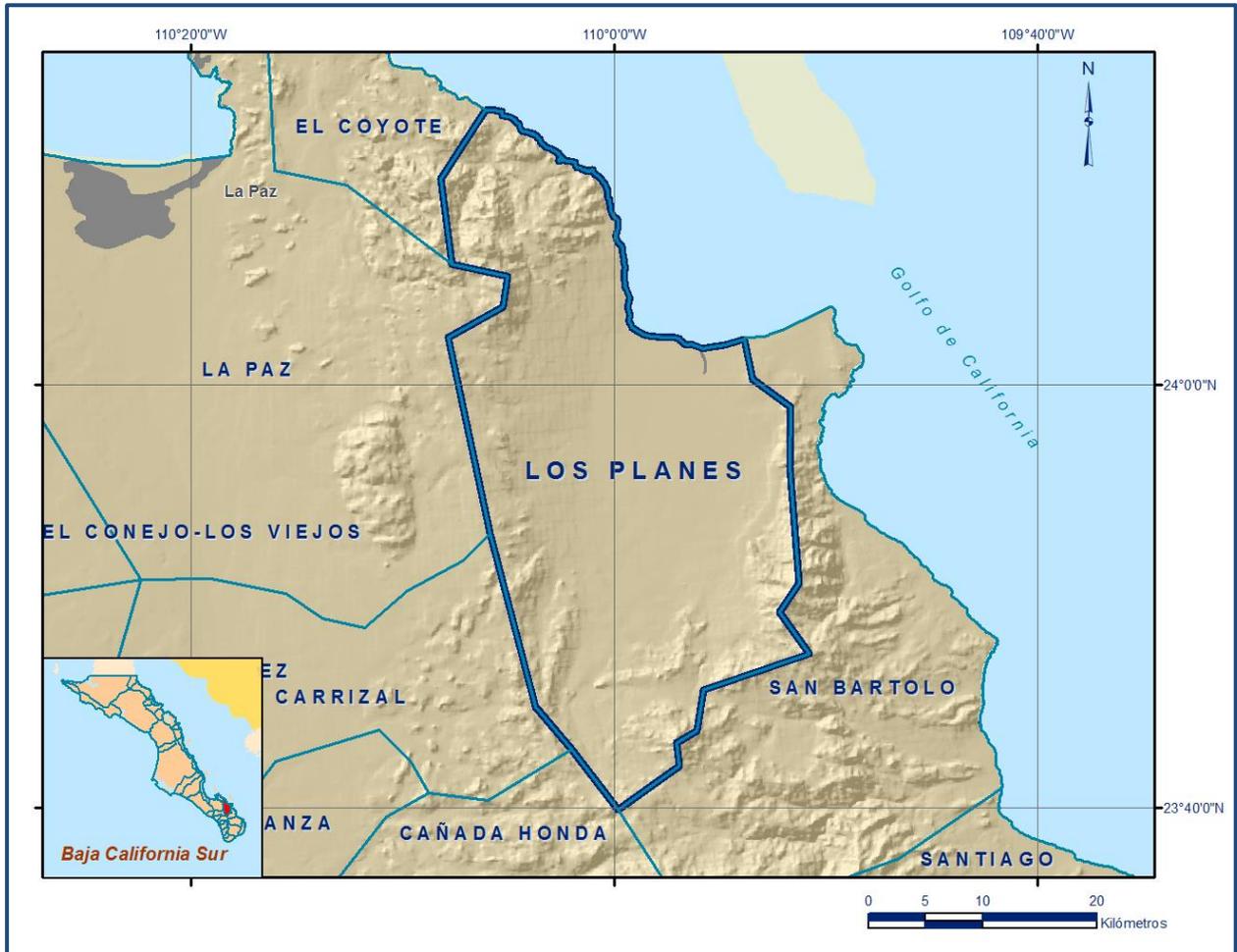


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Península de Baja California, al Consejo de Cuenca Baja California Sur, instalado el 03 de marzo de 2000 y es jurisdicción de la Dirección Local en Baja California Sur. Su territorio se encuentra completamente vedado y sujeto a las disposiciones del decreto de veda *“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 de tipo III, en las 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 uso principal del agua subterránea es el

agrícola. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna; los usuarios se encuentran organizados en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas Valle de los Planes, A.C., instalado el 24 de abril de 1998. En el extremo sur de su territorio, se localiza parte de la Reserva de la Biosfera “Sierra La laguna”, decretada el 6 de junio de 1994.

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUÍFERO 0323 LOS PLANES							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	109	53	51.3	24	2	10.4	
2	109	53	26.7	24	0	16.4	
3	109	51	41.0	23	58	58.0	
4	109	51	43.2	23	56	7.5	
5	109	51	17.1	23	50	35.5	
6	109	52	10.9	23	49	14.4	
7	109	50	47.6	23	47	17.0	
8	109	55	48.2	23	45	33.4	
9	109	56	5.9	23	43	39.7	
10	109	57	3.7	23	43	5.1	
11	109	56	56.4	23	41	57.3	
12	109	59	49.5	23	39	54.8	
13	110	2	17	23	42	45.9	
14	110	3	44.0	23	44	47.1	
15	110	5	53.4	23	52	57.9	
16	110	7	50.9	24	2	13.8	
17	110	5	15.1	24	3	40.9	
18	110	5	3.3	24	5	8.0	
19	110	7	40.1	24	5	41.7	
20	110	8	12.3	24	9	44.9	
21	110	6	4.6	24	13	0.2	DEL 21AL 1POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO
1	109	53	51.3	24	2	10.4	

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero se han llevado a cabo estudios geohidrológicos de evaluación. Entre los más importantes que se consultaron para la elaboración de este documento se mencionan los siguientes:

INFORME FINAL DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE SAN JUAN DE LOS PLANES, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Realizado en 1977 por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos (SARH). Su objetivo fue evaluar los recursos de aguas subterráneas para formular alternativas de explotación para las actividades productivas de la región. Incluyó como actividades principales censo de aprovechamientos, piezometría, exploraciones geofísicas, análisis fisicoquímicos a muestras de aguas subterráneas, ejecución de pruebas de bombeo y recorridos geológicos de campo; mediante los cuales fue posible definir la evolución de los niveles estáticos y de la calidad del agua extraída. Concluye que el acuífero ya mostraba una sobreexplotación de 2.5 hm³ anuales y menciona la existencia de una frontera impermeable que retardaba el avance franco de la intrusión marina.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SAN JUAN DE LOS PLANES, BCS. Realizado en 1997 por la Gerencia de Aguas Subterráneas. Aporta información de la geología estructural y del subsuelo, que junto la información hidrogeológica e hidrogeoquímica existente sirvieron para la definición del modelo conceptual que se plasmó en la construcción del modelo de simulación. Realiza la reinterpretación de las pruebas de bombeo con el método alternativo de Rathod y Rushton. Actualizó el censo de aprovechamientos, la hidrometría de las extracciones y la piezometría. El modelo de simulación concluye que, de seguir con el ritmo de extracción de ese año, se generarían niveles estáticos de hasta -10 msnm en una superficie mayor del cono de abatimiento regional.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA INTRUSIÓN MARINA EN EL ACUÍFERO LOS PLANES, B.C.S., Informe interno elaborado en 2012 por la Gerencia de Aguas Subterráneas, SGT, CONAGUA. Es un documento que forma parte de una serie de 18, elaborados para los acuíferos costeros que presentan intrusión marina, con el propósito de atender el Programa Nacional Hídrico 2007-2012, que en su Objetivo 7 establece la necesidad de evaluar los efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico y en la estrategia 3 de dicho objetivo menciona que se deberá promover y apoyar la investigación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, en materia de medidas de adaptación ante el cambio climático y específicamente la elaboración de estudios sobre vulnerabilidad, escenarios y posibles impactos y opciones de solución a la intrusión salina en acuíferos. Presenta información hidrogeológica general del acuífero que permite el análisis de los factores de vulnerabilidad a la intrusión marina, de acuerdo con una metodología de evaluación cuantitativa desarrollada por la misma Gerencia, definir las condiciones actuales y su posición. Adicionalmente, evalúa de manera conservadora el impacto económico de la intrusión marina.

PIEZOMETRÍA, HIDROMETRÍA DE LAS EXTRACCIONES Y RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN EL ACUÍFERO LOS PLANES, 2019. Dirección Local en Baja California Sur de la Comisión Nacional del Agua. Información piezométrica histórica y actualizada, estimación de los volúmenes de extracción y resultados de análisis químicos y determinaciones in situ a muestras de agua del acuífero.

La información piezométrica de este trabajo y su actualización al año 2016, fueron la base para la elaboración de las configuraciones del nivel estático, que sirvieron para actualizar el balance de aguas subterráneas.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la Provincia Fisiográfica Baja California. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1989), el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Península de Baja California, Discontinuidades Llanos de La Magdalena y Del Cabo.

La Provincia Península de Baja California, ubicada en el noroeste de la República Mexicana, desde el norte del paralelo 32° hasta el sur del 23° N, donde se ubica San José del Cabo, sur del Trópico de Cáncer; se extiende a lo largo de 1,333 km, con rumbo noroeste-sureste. Abarca una pequeña extensión en territorio estadounidense, más de 80% del estado de Baja California y la totalidad del estado de Baja California Sur. El eje geológico estructural que le da la forma alargada y angosta es su Cordillera Peninsular que tiene la misma orientación que la provincia, y el núcleo granítico masivo (batolito) que la constituye, aflora en el norte y queda sepultado hacia el sur. Este eje tiene forma de un bloque de falla alargado y basculado hacia el suroeste, por lo que presenta un flanco abrupto hacia el Golfo de California y otro tendido y de mayor suavidad hacia el Océano Pacífico. La Cordillera Peninsular remata en su extremo meridional en el bloque del Cabo, donde vuelven a quedar expuestas las rocas graníticas.

La Discontinuidad Llanos de La Magdalena se sitúa en la región centro-oeste del estado de Baja California Sur, limita al norte y al oriente con la Subprovincia Sierra La Giganta; al poniente y al sur con el Océano Pacífico y al sureste con la Discontinuidad Los Cabos. Las topofomas presentes corresponden a un terreno plano con un suave declive hacia la costa en la porción central, en donde se localiza una serie de lomeríos ramificados con bajadas. También se incluye la topofoma de una llanura aluvial de piso rocoso y otra llanura aluvial que se ubican al occidente y sur de Ciudad Constitución, respectivamente. El relieve que predomina es el de llanuras con o sin dunas, constituidas de suelos del Cuaternario; sin embargo, presenta lomeríos y bajadas sobre todo en el área de contacto con la sierra. Su característica principal es la presencia de afloramientos de sedimentos terciarios marinos.

La Discontinuidad del Cabo se extiende al sur del Trópico de Cáncer y es la parte final de la provincia, que comprende una superficie de 7,612 km² que corresponde al 9.79% de la superficie estatal. Se caracteriza por un conjunto de sierras que se orientan, a diferencia de la subprovincia Sierra de La Giganta, de noroeste a sudeste, desde el costado oriental de la Bahía de La Paz hasta cerca de Cabo San Lucas. Movimientos epirogenéticos relacionados a la apertura del golfo han permitido el desarrollo de

estructuras tectónicas relativamente recientes que son las responsables de las características geomorfotectónicas del actual bloque de Los Cabos. Presenta un sistema de topoformas de Lomerío con Cañadas asociadas con laderas bajas y tendidas hacia la zona costera, con una altura que varía de 100 a 200 msnm las cuales se han conformado en las fosas tectónicas, producto de fallamiento normal.

3.2. Clima

Con base en la clasificación y distribución de climas del INEGI (1998) y de acuerdo con los criterios de la clasificación de Köppen modificados por E. García (1964) para las condiciones de México, se establece que en la superficie cubierta por el acuífero predominan los climas secos y áridos (BW), con variantes de acuerdo con la elevación topográfica. En la mayor parte de la superficie se registra el clima BW(h')w muy árido, cálido, con temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Hacia las partes topográficamente más altas el clima es de tipo BWhw muy árido, semicálido; y BSohw árido, semicálido. Todas estas variantes de clima presentan temperatura media anual entre 18 y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor de 22°C. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó información de 6 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero: Los Planes, La Paz, Cajoncito, San Antonio, San Pedro y San Bartolo; cuyo registro comprende el periodo 1980-2010. Con base en esta información, se determinó que los valores promedio anual de temperatura, precipitación y evaporación potencial son **24.0 °C, 281 y 2,193 mm**, respectivamente. Los valores máximos de temperatura, de 30 a 45 °C, se registran entre los meses de mayo a septiembre, en tanto que las mínimas, de 12 a 18 °C, se presentan de diciembre a febrero. Con respecto a las lluvias, las máximas se registran entre los meses de julio a octubre y las mínimas de marzo a mayo.

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 muy bajo, las lluvias de temporada y la presencia ocasional de fenómenos ciclónicos, tienen un efecto importante sobre la recarga al acuífero. De igual manera, las condiciones de aridez, causadas por las bajas precipitaciones pluviales, son agravadas por la presencia

de sequías extremas que ocasionan una disminución de los escurrimientos superficiales y del almacenamiento del acuífero.

3.3. Hidrografía

El área que cubre el acuífero se encuentra ubicada en su totalidad dentro de la Región Hidrológica 06 “Baja California Sureste (Magdalena)”, Subregión Hidrológica “Baja California Suroeste”, cuenca “La Paz-Cabo San Lucas”, subcuencas arroyos Los Planes y Las Palmas. La porción sur pertenece a la Región Hidrológica 03 “Baja California Suroeste”, Subregión Hidrológica “Baja California Suroeste”, cuenca “La Paz-Cabo San Lucas”, subcuenca arroyos El Rosario-El Carrizal.

La cuenca de San Juan de los Planes tiene forma alargada en sentido norte-sur, de aproximadamente 10 km de longitud. Está limitada al sur por las sierras La Salecita y San Antonio; Las Cruces y La Trinchera al oeste, La Gata al este y al norte por la Bahía La Ventana. Las principales corrientes superficiales son producto de las precipitaciones ciclónicas y convectivas. Sus principales arroyos son Agua Caliente y El Chavalo, los cuales se unen aguas abajo, en donde reciben el nombre de Agua Caliente.

La red hidrográfica está conformada por un drenaje denso de carácter intermitente con un modelo predominantemente dendrítico a subdendrítico y rectangular en las porciones altas, en tanto que en las porciones bajas predomina el drenaje paralelo dicotómico. En general las corrientes son de régimen intermitente, y se pierden al infiltrarse al llegar a la planicie.

3.4. Geomorfología

En la región existen rasgos geomorfológicos que han sido originados como consecuencia de diferentes procesos geológicos que incluyen primero la formación de una montaña de origen intrusivo, después la actividad volcánica, procesos de sedimentación y finalmente la formación de una depresión transpeninsular, ocasionada como consecuencia de una falla tectónica que tiene una orientación NW-SE, en la que se depositaron los materiales de acarreo de los arroyos Los Planes y Las Palmas y sus arroyos tributarios más importantes. El resultado de estos procesos geológicos se manifiesta en la presencia de 3 unidades geomorfológicas principales: el valle, sierras y los taludes que representan las zonas de transición entre las dos primeras unidades.

Las sierras están constituidas por rocas ígneas intrusivas y metamórficas, entre ellas destacan Las Cruces y La Trinchera, ubicadas al oeste del acuífero; y La Gata al este. En

las porciones norte y sur, las elevaciones de las sierras de menor altura descienden gradualmente hasta los 200 msnm. Contra estas elevaciones contrastan las suaves pendientes de los depósitos de pie de monte que tiene su mayor expresión al norte y occidente del valle; transicionalmente cambian morfológicamente de taludes o pie de montes a terrazas erosionales que se confunden con el valle aluvial, tanto en forma como en litología. En la porción oriental y casi sobre la línea de costa, existen algunos lomeríos erosionados conformados por sedimentos de origen marino.

Geomorfológicamente, la zona se encuentra en una etapa de juventud avanzada y madurez temprana, en la que se destaca una topografía abrupta con altitudes que alcanzan los 1200 msnm en el Cerro El Parralito.

4. GEOLOGÍA

Las unidades litológicas que afloran en esta región del sur de la Península de Baja California comprenden un registro estratigráfico del Triásico Superior Inferior al Holoceno. Las principales sierras están constituidas por rocas ígneas intrusivas y metamórficas (figura 2). El marco geológico regional se divide en dos cinturones tectonoestratigráficos (Gastil et al., 1981; Blake et al., 1984); uno de afinidad de corteza oceánica representado en las islas de la porción occidental y noroccidental y el otro de afinidad sedimentaria, vulcanosedimentaria y volcánica en la región peninsular y en las islas de la porción oriental (Carta Geológica-Minera G12-10-11 "La Paz" Esc. 1:250.000 SGM, 2002).

En la superficie cubierta por el acuífero aflora el complejo metamórfico, asociado con rocas arcillosas, que fueron generadas a lo largo de la zona de la falla La Paz. Esta secuencia metamórfica consiste de pizarras, filitas, esquistos y sillimanita. Sobreyaciendo a dicha secuencia, se encuentran rocas intrusivas de composición gabroica, granítica y granodiorítica. La columna estratigráfica se encuentra coronada por un conjunto de sedimentos que son producto de la denudación de las rocas preexistentes dando origen a acumulación de material aluvial. A continuación, se hace una breve descripción de las unidades geológicas que afloran en el área, de la más antigua a la más reciente, tomando como base principal las Cartas Geológico-Mineras San Antonio F12-B13 y San Juan de los Planes F12-B14, escala 1: 50,000, SGM, 1996 y 2000, respectivamente:

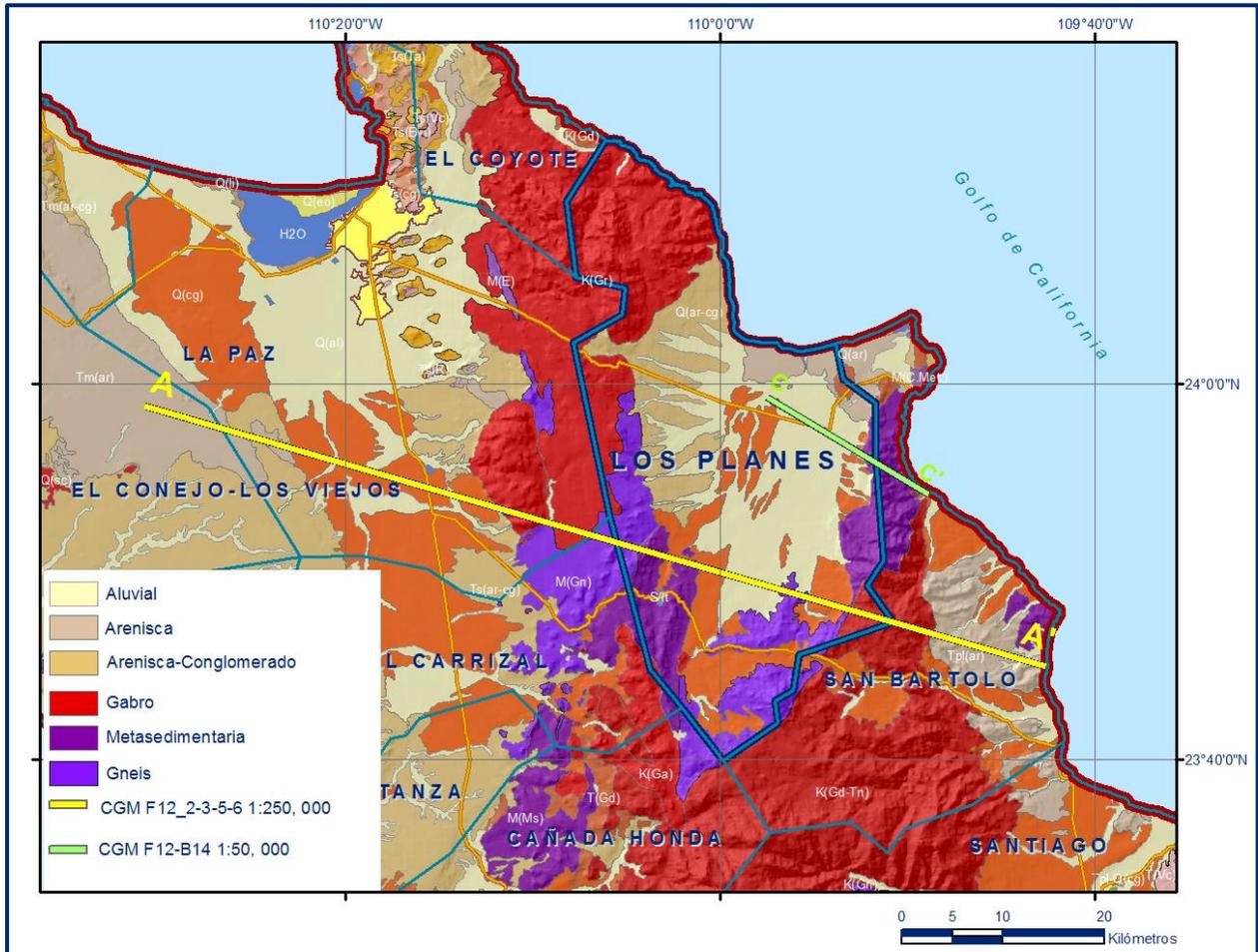


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

La secuencia estratigrafía de la región en la que se localiza el acuífero se describe a continuación en orden cronológico de la unidad más antigua a la más reciente:

TRIÁSICO SUPERIOR-JURÁSICO SUPERIOR

En el cinturón occidental las rocas más antiguas corresponden a un complejo ofiolítico, constituido por anfibolitas, metagabros, metadiabasas, rocas metavolcánicas, esquistos y gneises, que presentan metamorfismo de bajo grado correspondiente a la facies de esquistos verdes; afloran como remanentes y techos colgantes en las porciones oeste y suroeste del acuífero. Es la unidad más antigua y corresponde a un complejo de rocas metamórficas de diferente origen que presentan superficies de esquistosidad bien definidas. La serie continúa con un grupo de rocas intrusivas, gabros y dioritas, que afloran en la porción oriental del acuífero. Federico Mina (1957) se refiere a esta secuencia de rocas metamórficas, intrusivos graníticos y extrusivas asociadas, con el nombre de Complejo Ígneo-Metamórfico, que forma el espinazo de la Península de la Baja California y que constituye el basamento cristalino

sobre el que descansa toda la secuencia de rocas sedimentarias marinas. Localmente están afectadas por intrusivos, generando rocas de metamorfismo de contacto como hornfels y skarns de epidota. Los esquistos afloran al oriente del poblado El Triunfo, en una franja NE-SW, hasta la zona norte de San Antonio.

CRETÁCICO

El Cretácico Inferior está representado por gabros, dioritas, tonalitas y granodioritas, que afloran ampliamente en los extremos oriental, suroccidental y sur del acuífero, conformando las sierras que lo delimitan. Estas rocas son intrusionadas por un granito del Cretácico Superior, en ocasiones presenta una deformación dúctil de apariencia de esquistos y gneis. Petrográficamente es un metagranito de biotita en el que algunos cristales grandes se observan deformados sin presentar ningún otro rasgo de metamorfismo más avanzado. La franja irregular deformada que presenta esta unidad tiene una orientación NE-SW, que forma la porción noroccidental de la Sierra El Carrizalito.

El Cretácico Superior está representado rocas graníticas correlacionables con el Batolito Los Cabos; afloran cuerpos de granodioritas y granitos con tonalitas, asociadas en forma de diques. El primero presenta un desarrollo gradual de foliación que disminuye hacia el centro del cuerpo. Los últimos se presentan frecuentemente mineralizados. Intrusionando a las unidades antes descritas, afloran al sur de San Antonio cuerpos en forma de diques y apófisis de composición gabroica. La Sierra de Calabazas está constituida por un cuerpo diorítico en forma de lacolito que representa el último evento magmático el Cretácico. En la zona El Triunfo-San Antonio afloran diques de composición similar a la Sierra de Calabazas.

TERCIARIO

Del Paleoceno(?) al Mioceno Medio, la península formaba parte de la cuenca de antearco de margen activo en esa época (Fischer et al.,1995), que para la región representa un periodo de no depósito.

Del Mioceno Medio Tardío-Plioceno Inferior se depositaron discordantemente sedimentos de ambientes marinos no muy distales a la línea de costa, correspondientes a depósitos de la Formación Trinidad (Martinez y Sethi, 1997), constituida por intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas dispuesta en estratos delgados, que afloran en la porción suroriental.

Durante el Plioceno Superior-Pleistoceno se depositó discordantemente la Formación Los Barriles (Martínez y Sethi, op. cit.) constituida por una intercalación de areniscas de

grano medio a grueso, conglomerados polimícticos semiconsolidados y mal clasificados, así como horizontes de limolita. Aflora en la porción suroriental, en el poblado La Tina, en el arroyo Aguaje Blanco.

CUATERNARIO

Sobreyaciendo concordantemente a la unidad anterior aflora la Formación El Chorro de edad Pleistoceno (Martínez y Sethi, op. cit.) compuesta por un conglomerado polimíctico semicompacto, mal clasificado, que contiene una matriz arcillo-arenosa, integrado por clastos de granito y granodiorita. Sus afloramientos se distribuyen irregularmente en la porción suroriental.

A fines del Pleistoceno se depositaron concordantemente sedimentos que comprenden terrazas marinas constituidas por intercalaciones de areniscas limosas de grano fino a medio, con abundante fauna marina y coquinas semicompactas distribuidas en la porción nororiental, así como terrazas continentales integradas por areniscas arcillosas de grano medio a grueso, consolidadas, masivas y con presencia de clastos de hasta 0.3 m, producto de la erosión de rocas graníticas identificadas en la porción suroriental de la zona (Mesa boca de Álamo y Los Algodones).

Durante el holoceno se depositaron sedimentos aluviales constituidos por conglomerados polimícticos, mal clasificados en una matriz areno-arcillosas, limos, arenas y cantos rodados; así como depósitos eólicos y litorales.

4.2. Geología estructural

La región se comporta como un pilar de fallas con una orientación N-S. Las fallas de carácter regional se encuentran enmascaradas por la presencia de abanicos aluviales, destacando principalmente tres estructuras regionales: la fosa tectónica San Juan de los Planes, la cuenca sedimentaria El Cardonal y el pilar tectónico sierra El Carrizal. La cuenca sedimentaria El Cardonal tiene un origen marino continental, la cual es continuación de la cuenca sedimentaria del graben de Santiago. El pilar tectónico sierra El Carrizal tiene una forma alargada considerada como la vertiente del extremo norte del Bloque Los Cabos que termina en el Golfo de California, y se asocia a un sistema de fallamiento normal considerado el más antiguo con una orientación preferencial NE-SW. En este bloque se desarrollan estructuras cataclásticas dúctiles. La deformación se tiene con mayor frecuencia dentro del granito donde el evento posiblemente está asociado con la apertura del Golfo de California, este fallamiento a su vez está siendo desplazado por un sistema de fallas normales originando una serie de bloques escalonados, fosas y pilares tectónicos. Debido al fallamiento se originaron una serie de bloques escalonados, así como estructuras tectónicas asociadas a fosas y

pilares, así como un ambiente de distensión con construcción de cuencas tipo “pull-apart”, a este sistema se le relacionan fallas regionales como la falla La Paz y la falla San Juan de Los Planes (Carta Geológico San Juan de los Planes F12-B14, escala 1: 50,000; SGM, 2000).

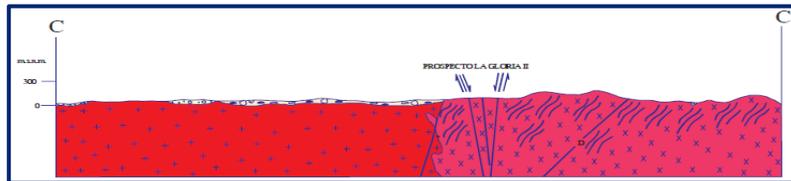
El flanco oriental de las sierras Las Cruces y La Trinchera está claramente limitado por la falla normal San Juan de Los Planes (Puy-Alquiza, 1992), que se caracteriza por ser un lineamiento de orientación norte-sur y que se identifica en forma clara, tiene una longitud de al menos 40 km y constituye el contacto entre las rocas intrusivas y los depósitos de pie de monte y abanicos aluviales que afloran ampliamente en la región oriental de dichas sierras. El pilar tectónico oriental, que ha sido denominado Sierra La Gata, tiene una orientación N-S, está constituida predominantemente por rocas intrusivas y metasedimentarias que presentan un grado alto de metamorfismo; está limitado por diversas fallas normales que se han identificado a lo largo de varios kilómetros de distancia. En la porción sur de la cuenca San Juan de Los Planes se presenta la Sierra de San Antonio, constituida por granodioritas, granitos y rocas metasedimentarias, que presentan diques de tonalita, cuarzodiorita, cuarzomonzonita, gabro, aplita andesita y riolita.

En términos generales, las fallas que se han reportado en la zona de estudio son de tipo normal, con orientación preferencial norte-sur. La UABCS (2002) reporta la existencia de al menos 5 fallas principales con esta orientación: i) falla San Juan de Los Planes, ii) falla el Sargento, iii) falla Agua Caliente, iv) falla el Tecuán y v) sistema de fallas escalonadas La Gata, que incluye fallamiento normal y lateral. Una falla adicional identificada en la porción sur se conoce con el nombre de San Bartolo que tiene una dirección preferencial este-oeste.

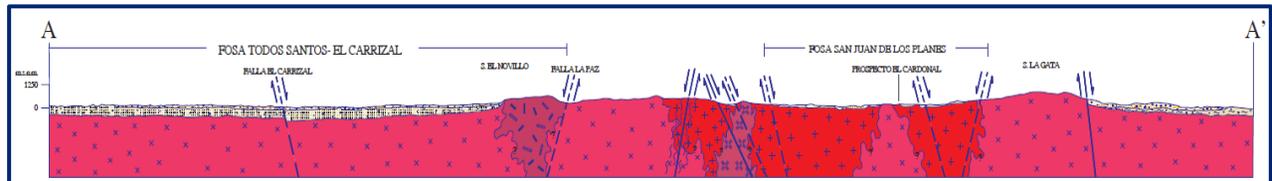
4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la reinterpretación de los cortes geológicos, las exploraciones geofísicas y las evidencias de campo, es posible identificar que el acuífero es de tipo libre y está constituido, en su porción superior, por sedimentos aluviales, fluviales, eólicos y litorales, depositados tanto en los subálveos de los arroyos como en la planicie costera; la porción inferior se aloja en areniscas y conglomerados que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Con esta información ha sido posible definir un basamento irregular, sobre el que se han depositado 3 unidades geohidrológicas: sedimentos gruesos y areno-arcillosos, rocas volcánicas y piroclásticas y rocas pertenecientes al complejo ígneo-metamórfico. De éstas, únicamente tienen importancia geohidrológica y constituyen acuíferos los depósitos de la primera unidad, los conglomerados y areniscas.

El acuífero presenta un espesor máximo de 300 m y mínimo de 20 m, de permeabilidad media que le confieren los depósitos de origen aluvial, arenas finas a gruesas con arcillas, gravas, guijarros y cantos rodados, como brechas y conglomerados. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico están conformados por las mismas rocas sedimentarias cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento, así como por las rocas ígneas intrusivas y metamórficas del complejo ígneo-metamórfico (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera F12-B14 "San Juan de los Planes" Esc. 1:50.000 (SGM, 2000)



Fuente: Carta Geológica-Minera F12-2-3-5-6 "San José del Cabo" Esc. 1:250.000 (SGM, 2002)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

La información de los cortes litológicos de pozos, los sondeos geofísicos y la información de la geología superficial, permiten establecer que el acuífero es de **tipo libre**, con presencia de condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de sedimentos arcillosos, especialmente a mayor profundidad, conformando un medio heterogéneo y anisotrópico. Está integrado, en su porción superior por un medio granular constituido por depósitos clásticos de granulometría variada, conglomerados, sedimentos lacustres y eólicos; en su porción inferior por rocas sedimentarias, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. El basamento y fronteras al flujo subterráneo están constituidos por rocas intrusivas que afloran en la porción noroccidental del acuífero, así como las secuencias metamórficas constituidas por filitas, esquistos y gneises que afloran al sur, este y oeste.

El movimiento del agua subterránea en el medio granular está controlado por las variaciones de permeabilidad de los diferentes depósitos, mientras que en el medio fracturado su trayectoria depende del patrón de fracturas y fallas, así como de la configuración de los bajos estructurales en el subsuelo.

5.2. Parámetros hidráulicos

Para la determinación de los valores de los parámetros hidráulicos de las unidades que conforman el acuífero en explotación, se analizó la información de pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, que fueron realizadas en estudios previos. De su interpretación por métodos convencionales y por el modelo de flujo de flujo radial de dos capas de Rathod y Rushton (1990) (CONAGUA 1997), se determina que la conductividad hidráulica de los materiales que conforman el medio poroso varía de **5 a 70 m/día (5.8×10^{-5} a 8.1×10^{-4} m/s)**; en tanto que los valores de transmisividad oscilan entre **0.2 y 10.0×10^{-3} m²/s**, predominando valores entre 1.0 y 4.0×10^{-3} m²/s. Los valores máximos se presentan hacia el sur del valle y los menores hacia el poniente. Algunas pruebas muestran efectos de frontera debido a la cercanía con la sierra circundante al valle; otras con un comportamiento de acuífero semiconfinado, y otras como libre o freático.

La conductividad hidráulica promedio disminuye cuando se presentan los materiales de granulometría fina. Los pozos más profundos presentan valores de conductividad hidráulica menores debido a la presencia de materiales areno arcillosos a profundidades mayores de 200 m. Hacia las partes más bajas del valle, la transmisividad del acuífero decrece debido al aumento de la proporción de sedimentos de grano fino. Los valores mayores que 0.02 m²/s se presentan en las porciones altas de los valles, asociados a con los depósitos fluviales de mayor granulometría, así como en las inmediaciones de las zonas de falla, donde las fracturas se encuentran interconectadas y el subsuelo es más permeable.

La información del coeficiente de almacenamiento del acuífero es muy escasa, sin embargo, los resultados de las pruebas de bombeo interpretadas por el modelo numérico de Rathod y Rushton reportan valores que varían entre **0.05 a 0.15** para el rendimiento específico y de **0.00001 a 0.0009** para el coeficiente de almacenamiento, relacionados con acuíferos semiconfinados a libres.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información de estudios previos, así como la piezometría recabada por la Dirección Local en Baja California Sur de la Comisión Nacional del Agua, para varios años. Para el balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2013-2019.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2019 muestra que los valores varían, de manera general, de 15 a 60 m, los cuales se incrementan desde la zona costera hacia el sur y hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero. Las profundidades más someras, de 15 a 20 m, se presentan en la región cercana a la zona costera, entre los poblados La Ventana, La Noria, Los Ángeles y General Juan Domínguez Cota; en tanto que los más profundos, de 50 a 60 m, se registran en la porción sur del acuífero y hacia los flancos este y oeste (figura 4).

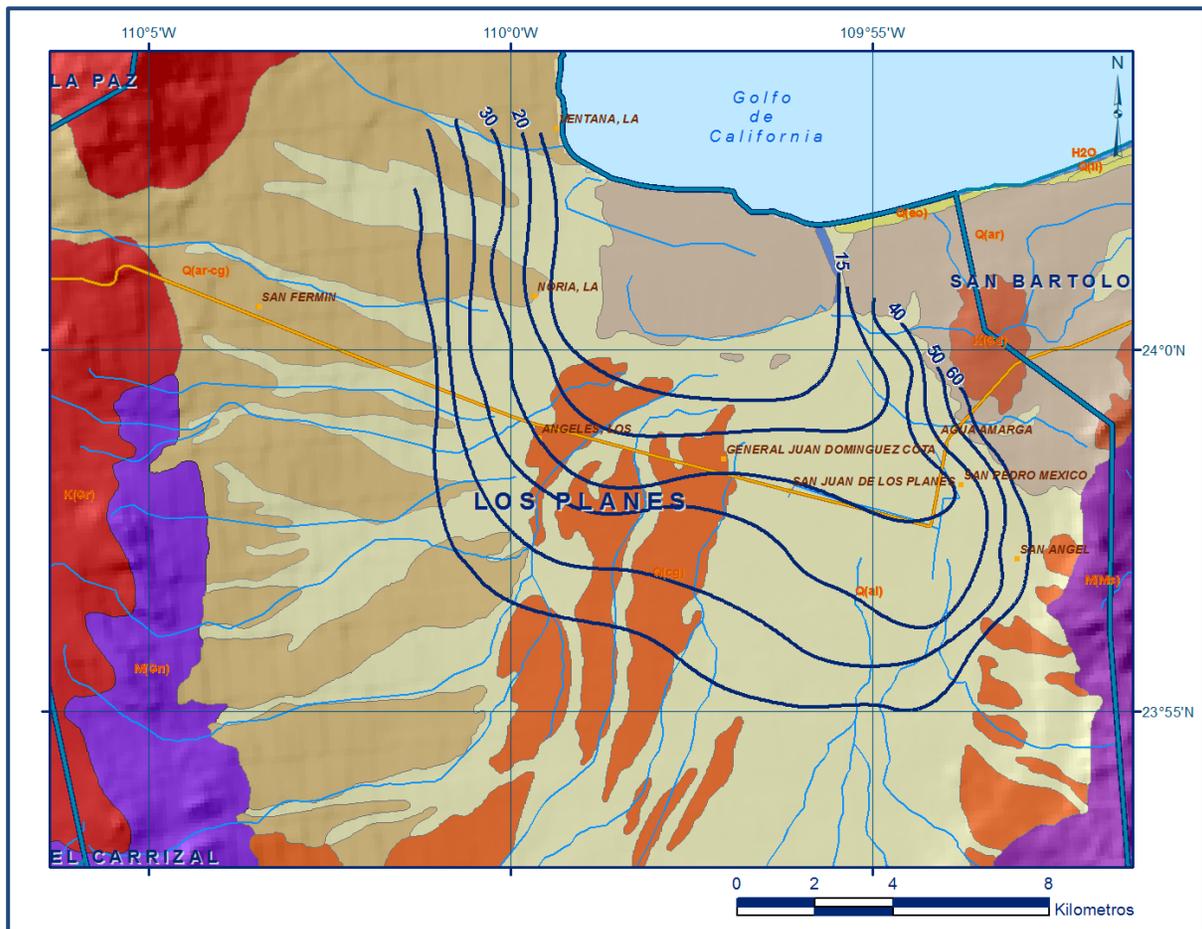


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2019)

5.4.2. Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2019 registró valores que variaron de 7a -8 msnm. En la mayor parte de la superficie de explotación se presentan elevaciones por debajo del nivel medio del mar debido al avance de la intrusión marina, excepto el extremo sur y en los extremos oriental y occidental, donde se registran valores de 2 a 7 msnm. En la porción central del valle, en la zona agrícola que rodea al poblado San Juan de los

Planes, se presentan conos definidos por las curvas de 2 a 8 msnm causados por la extracción intensiva y la intrusión marina (figura 5).

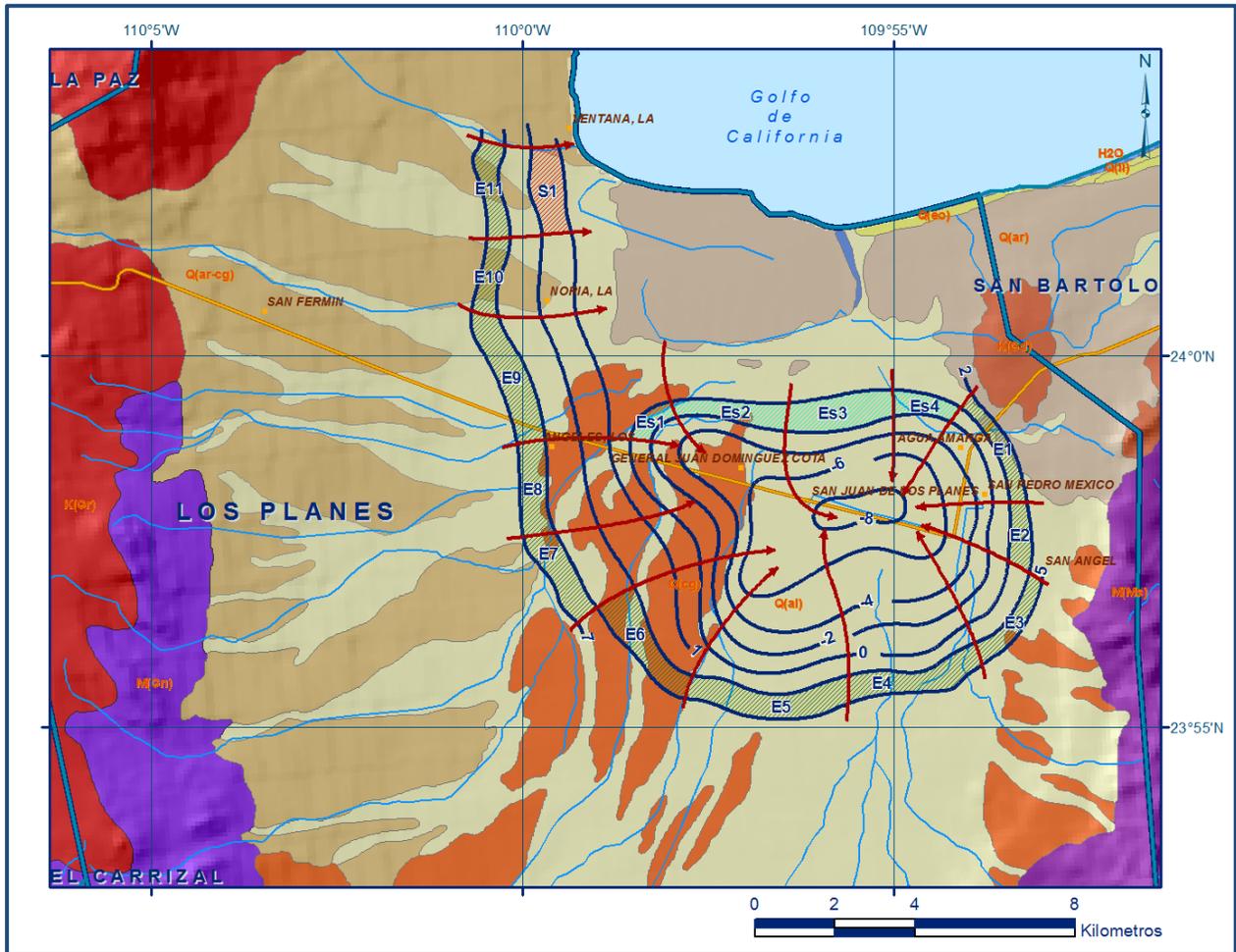


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2019)

5.4.3. Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2013-2019 registra valores de abatimiento que varían desde algunos centímetros, en toda la zona que rodea a la zona agrícola, hasta 3 y 5 m que se observaron en las zonas de mayor concentración de la extracción. Los mayores abatimientos, de 2 a 5 m para el periodo analizado, que representan un ritmo anual de 0.30 a 0.8 m, se registran en la porción central del valle, al suroeste de San Juan de los Planes. Solo en la zona porción sur, este y oeste, topográficamente más altas, se observaron ligeras recuperaciones de 1 m, que representa apenas 0.15 m anuales (figura 6). Se considera que el abatimiento promedio anual es de 0.4 m, que ha disminuido gradualmente con el ingreso de agua salobre causada por la intrusión marina.

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos (2013-2020), se establece que las concentraciones de algunos iones y elementos sobrepasan los límites máximos permisibles que establece 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. La concentración de SDT presenta valores extremos que varían de 254 a 4200 mg/l; las muestras obtenidas en pozos más cercanos a la zona costera sobrepasan el límite máximo permisible (LMP) de 1000 mg/l establecido en la NOM-127-SSA1-2021 para el agua destinada al consumo humano. Los parámetros cuyas concentraciones superan el LMP establecido en la norma referida son coliformes fecales, sólidos totales disueltos, sulfatos, fierro, manganeso y arsénico, Las concentraciones máximas de coliformes fecales encontrados en el agua subterránea son de 3873 NMP/100ml, que deberían estar ausentes para el agua de consumo humano; la concentración máxima de sulfato es de 694 mg/l, que rebasa el LMP de 400 mg/l para consumo humano; la máxima concentración de hierro es de 14.06 mg/l, cuando el LMP establecido por la norma referida es de 0.3 mg/l; la máxima concentración de manganeso es de 1.16 mg/l, mientras que el LMP es de 0.15 mg/l, y la máxima concentración de arsénico es de 0.42 mg/l, cuyo LMP para consumo humano es de 0.025 mg/l.

En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), el agua se clasifica como dulce a marina, de acuerdo con la clasificación establecida por la American Public Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores oscilan entre 430 y 6550 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de temperatura varían de 27.3 a 33.8°C y el pH de 7.2 a 8.3.

Las mayores concentraciones de STD y valores más altos de CE se registran en las zonas de concentración del bombeo; en donde de forma inducida se produce una mezcla con el agua de mayor salinidad que se extrae de los niveles más profundos. De manera general las concentraciones más altas de STD se registran en la zona costera y las menores en la porción sur del acuífero, mostrando de esta manera la trayectoria preferencial del flujo subterráneo de sur a norte. Para el año 2019 la curva de elevación 0 msnm se ubicaba en promedio en la porción central del acuífero a 12 km de la costa y la cuña de agua marina a 7 km.

Con respecto a la familia de agua predominante en las distintas zonas del acuífero, de acuerdo con los iones presentes, se identifican las familias del agua, en orden de importancia: sódico-clorurada y clorurada-mixta, características de las zonas con influencia de la intrusión marina. Otras familias representadas en las muestras son bicarbonatada-mixta, mixta-sódica, mixta-mixta, sulfatada-cálcica y sulfatada-mixta.

Según el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para clasificar la calidad del agua destinada al uso agrícola, predominan las aguas de tipo S_2-C_3 y S_2-C_2 (contenido medio de sodio alto intercambiable y salinidad alta a media), cuya utilización en la agricultura se restringe a suelos con buen drenaje, resistentes a la sodificación, y cultivos tolerantes a la salinidad. En menor proporción se presentan aguas de tipo S_1-C_2 , que presentan bajo contenido de sodio intercambiable y salinidad media.

Con base en la composición del agua subterránea y las reacciones de intercambio iónico que se desarrollan en el acuífero, se identificaron 5 grupos de composición química relativamente homogénea.

Las muestras del grupo 1 representan el agua subterránea de menor salinidad (promedio de 400 mg/l), se distribuyen principalmente en la porción centro-sur del área, en la que históricamente la concentración de pozos es menor y donde el agua subterránea tiene como fuente de recarga los escurrimientos provenientes de las sierras Trinchera y San Antonio.

Las muestras del grupo 2 son las que presentan la mayor salinidad por su alta concentración de cloruro y sodio, debido a que no existen aprovechamientos subterráneos que capten el extremo salino en el acuífero; el agua marina de la línea de costa representa el agua de mayor salinidad que avanza tierra adentro desplazando agua subterránea de menor salinidad y densidad.

El agua subterránea del grupo 3 corresponde a muestras colectadas en la porción sur del área de estudio, específicamente en la Sierra de San Antonio; su salinidad promedio es del orden de 1 250 mg/l y presenta valores elevados de sulfatos debido a su interacción con rocas graníticas que tienen cantidades variables de minerales metálicos (sulfuros principalmente) presentes en los yacimientos que existen en esa región. A este origen se deben también los valores relativamente elevados de arsénico y otros metales pesados.

El grupo 4 está relacionado con reacciones de intercambio catiónico directo, en las que el sodio presente en la fracción arcillosa del acuífero es intercambiado por el calcio, modificando el pH y la alcalinidad de la solución; esto ocurre en las zonas de recarga donde el agua dulce que se infiltra tiene la capacidad de desalojar agua salobre del acuífero.

Finalmente, la mayor parte de las muestras de agua subterránea se clasificaron en el grupo 5 cuya composición química está determinada por mezcla con agua marina y reacciones de intercambio catiónico inverso, en las que el calcio de la fracción arcillosa del acuífero es intercambiado por el sodio del agua salobre. Estas son las reacciones típicas de la intrusión marina.

La concentración de arsénico en algunos aprovechamientos de la porción occidental del acuífero rebasa el límite máximo permisible que establece la Norma Oficial Mexicana para el agua destinada al consumo humano. Su origen está asociado a la traza de la falla El Sargento que atraviesa el área, desde la sierra San Antonio en la zona sur, hasta la Bahía de La Ventana en la región norte.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el censo de aprovechamientos más reciente (2000), se registró la existencia de 89 aprovechamientos del agua subterránea, 66 pozos y 23 norias, de las cuales 74 activos y 15 inactivos. Del total obras, 56 son para uso agrícola, 7 para uso público-urbano y 26 para uso doméstico pecuario.

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos del año 2000, complementada con información 2019 del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **11.0 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022. De los cuales 9.0 hm³ (81.8%) se destinan al uso agrícola, 1.0 hm³ (9.1%) para el uso público urbano y 1.0 hm³ (9.1%) para uso doméstico.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2013-2019, en una superficie de **136 km²** que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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 masa es la siguiente:

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

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

Recarga total – Descarga total = Cambio de almacenamiento

7.1. Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh). Adicionalmente, debido a la intrusión marina, existe ingreso de agua salobre (Ehs) procedente de la franja costera.

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela; del agua residual de las descargas urbanas y de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). Para este caso, debido a que los volúmenes destinados a al uso público-urbano y agrícola son pequeños, para fines del balance de aguas subterráneas se considera que no existe recarga incidental.

7.1.1. Recarga vertical (Rv)

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

$$Rv + Ed + Es - B - Sh - Ssb = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv: Recarga vertical

Ed: Entradas por flujo subterráneo horizontal (agua dulce)

Es: Entradas por flujo subterráneo horizontal salobre (agua salobre)

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal

Ssb: Extracción de agua salobre

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

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Rv = B + Sh + Ss \pm \Delta V(S) - Eh - Es \quad (2)$$

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través de los piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2019 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

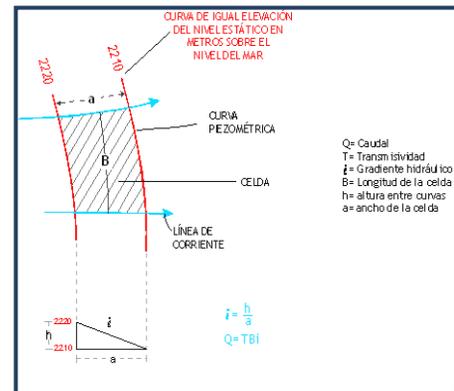
Donde:

Q= Caudal (m³/s)

T= Transmisividad (m²/s)

B= Longitud de la celda (m)

I= Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal de agua dulce es de **7.4 hm³/año**.

Tabla 2. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua dulce (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
Ed1	2900	400	2	0.00500	0.0025	0.0363	1.1
Ed2	1600	500	2	0.00400	0.0010	0.0064	0.2
Ed3	2500	450	3	0.00667	0.0020	0.0333	1.1
Ed4	3200	500	3	0.00600	0.0030	0.0576	1.8
Ed5	3800	650	3	0.00462	0.0015	0.0263	0.8
Ed6	2900	600	3	0.00500	0.0020	0.0290	0.9
Ed7	2300	650	2	0.00308	0.0020	0.0142	0.4
Ed8	2350	650	2	0.00308	0.0010	0.0072	0.2
Ed9	3350	800	2	0.00250	0.0010	0.0084	0.3
Ed10	1950	480	2	0.00417	0.0010	0.0081	0.3
Ed11	2500	460	2	0.00435	0.0010	0.0109	0.3
TOTAL						7.4	

7.1.3. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salobre (Es)

Las entradas de agua salobre, por flujo subterráneo horizontal, fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas de agua dulce, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5. El volumen

total de entradas de agua salobre por flujo subterráneo horizontal es de **1.4 hm³/año** (tabla 3).

Tabla 3. Entradas por flujo subterráneo horizontal de agua salobre (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
Es1	1200	450	2	0.00444	0.0015	0.0080	0.3
Es2	2650	500	2	0.00400	0.0015	0.0159	0.5
Es3	2500	900	2	0.00222	0.0015	0.0083	0.3
Es4	1500	500	2	0.00400	0.0015	0.0090	0.3
TOTAL							1.4

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre por bombeo de agua dulce y salobre y por flujo subterráneo.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor calculado promedio de la extracción por bombeo asciende a **11.0hm³ anuales**.

7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas por flujo subterráneo horizontal, fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5. El volumen total de entradas de agua salobre por flujo subterráneo horizontal es de **0.2 hm³/año** (tabla 4).

Tabla 4. Salidas por flujo subterráneo horizontal (2019)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	2200	825	1	0.00121	0.002	0.0053	0.2
TOTAL							0.2

7.2.3. Salidas de agua salobre por bombeo (Ssb)

No existe información de la extracción de agua salobre; sin embargo, se considera que su volumen es al menos de la misma magnitud que el volumen de las entradas por flujo subterráneo de agua salobre procedente de la franja costera. Por lo tanto, **Ssb =**

1.4 hm³anuales.

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 registrada durante el periodo 2013-2019 (figura 6). Con base en ella y un valor promedio de rendimiento específico de 0.12 se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 136 km², 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 de curvas de igual evolución del nivel estático (km²)

h: Valor de la variación piezométrica en el período (m)

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica durante el período 2013-2019 se pueden observar en la tabla 5. El volumen del cambio de almacenamiento promedio anual es de **-1.0 hm³anuales**.

Tabla 5. Cálculo del volumen de cambio de almacenamiento (2013-2019)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	Sy	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
-5	-5.0	0.2	0.12	-0.1
-3 a -5	-4.0	0.9	0.12	-0.4
-2.5	-2.5	1.6	0.12	-0.5
-1.5 a -2.5	-2.0	5.6	0.12	-1.3
-1 a -3	-2.0	16.0	0.12	-3.8
0 a -1	-0.5	23.9	0.12	-1.4
0 a 1	0.5	27.0	0.12	1.6
	TOTAL	75.2	TOTAL	-5.9
	Promedio anual			-1.0

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:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh + Ssb \pm \Delta V(S) - E_h - E_s \\ R_v &= 11.0 + 0.2 + 1.4 - 0.4 - 7.4 - 1.4 \\ R_v &= 3.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual está definida por la suma de la recarga vertical, las entradas horizontales subterráneas y la recarga incidental:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 3.4 + 7.4 \\ R &= 10.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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:

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

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, tanto en forma de recarga natural como incidental. Para este caso su valor es **10.8 hm³/año**, de recarga natural.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

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

ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del acuífero Los Planes se considera comprometida la salida por flujo subterráneo que se produce en la zona costera del poblado La Ventana. Por lo tanto, **DNC = 0.2 hm³ anuales.**

8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (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 extraídos 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 **12'937,570 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos del Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

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

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 10.8 - 0.2 - 12.937570 \\ \text{DMA} &= - 2.337570 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario su **déficit** es de **2'337,757 m³**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2007. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Los Planes, estado de Baja California Sur.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1977. Informe final del estudio geohidrológico del valle de San Juan de Los Planes, B.C.S. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.,