



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN IGNACIO (0303), 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.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	13
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	15
5.2 Parámetros hidráulicos.....	16
5.3 Piezometría.....	16
5.4 Comportamiento hidráulico.....	16
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	16
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	17
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	19
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
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. Retornos de riego (Rr).....	24
7.2 Salidas.....	24
7.2.1 Bombeo (B).....	24
7.2.2 Salidas horizontales subterráneas (Sh).....	24
7.2.3 Evapotranspiración (ETR).....	25
7.2.4 Descarga por manantiales (Dm).....	25
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	25
8. DISPONIBILIDAD	27
8.1 Recarga total media anual (R).....	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
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 San Ignacio, definido con la clave 0303 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo norte del estado de Baja California Sur, entre los paralelos 26°14' a 27°36' de latitud norte y los meridianos 112°05' a 113°36' de longitud oeste abarcando una superficie de 11,491 km².

Colinda al norte con el acuífero Las Vírgenes, al este con los acuíferos Santa Rosalía, Santa Águeda, San Marcos-Palo Verde, Mulegé y La Purísima, al oeste con los acuíferos Punta Eugenia, Vizcaíno y con el Océano Pacífico (figura 1).

Geopolíticamente se encuentra principalmente en el municipio Mulegé y el extremo sur abarca una pequeña porción del municipio de Comondú.

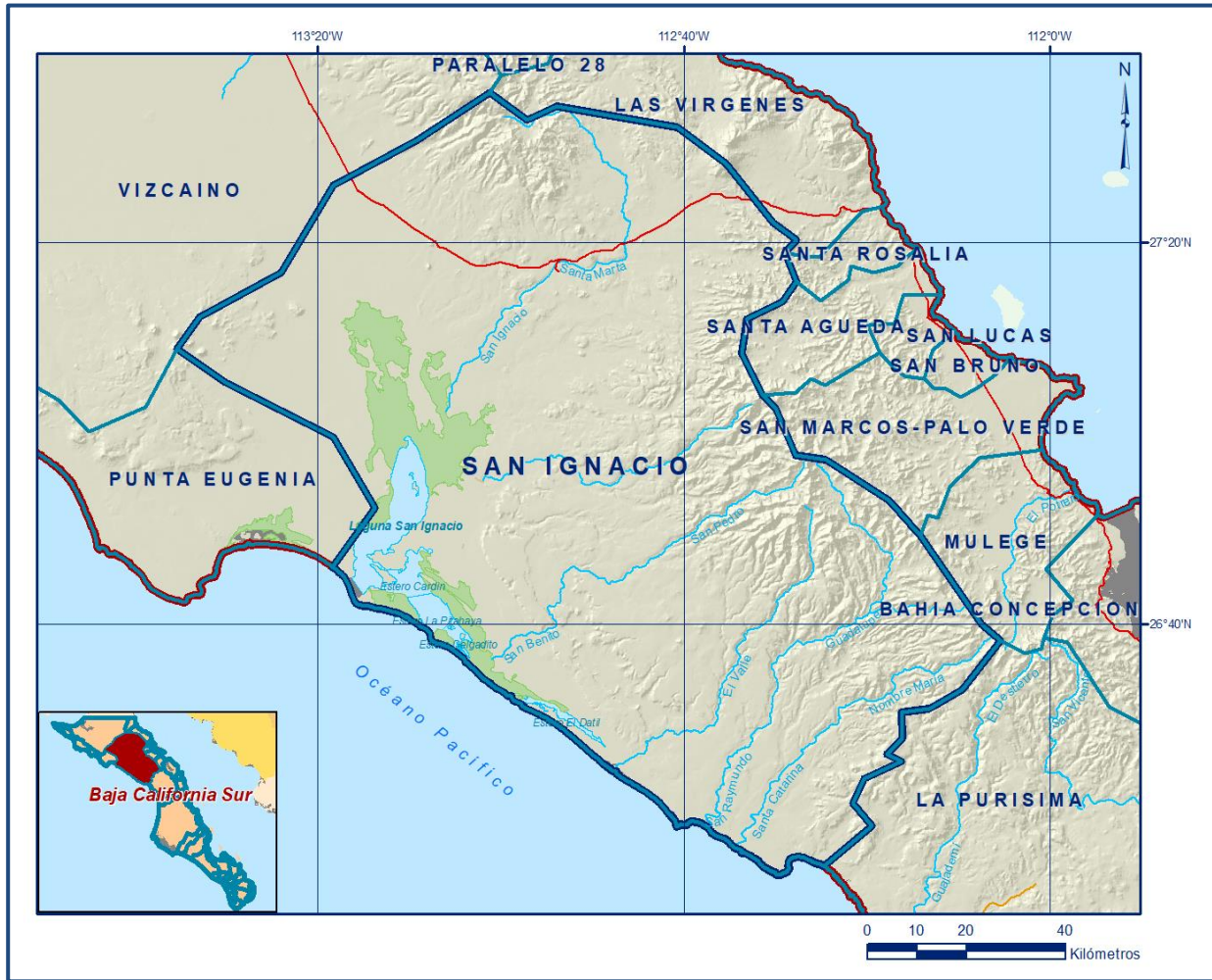


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0303 SAN IGNACIO							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	31	24.5	27	3	58.9	
2	112	30	1.7	27	2	36.7	
3	112	27	49.9	26	57	43.3	
4	112	24	28.1	26	57	15.1	
5	112	17	34.2	26	52	56.5	
6	112	14	8.7	26	49	15.9	
7	112	7	26.3	26	40	0.4	
8	112	5	21.6	26	38	18.6	
9	112	9	36.8	26	33	10.5	
10	112	13	10.5	26	31	10.4	
11	112	16	13.8	26	30	50.3	
12	112	16	6.3	26	28	4.5	
13	112	17	48.4	26	26	30.7	
14	112	16	14.6	26	25	43.5	
15	112	20	17.8	26	23	56.1	
16	112	21	32.5	26	21	19.9	
17	112	19	27.3	26	18	56.1	
18	112	24	41.9	26	14	46.4	DEL 18 AL 19 POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
19	113	18	27.1	26	46	3.8	
20	113	13	46.7	26	52	13.7	
21	113	18	21.1	26	59	37.8	
22	113	30	4.6	27	5	17.0	
23	113	35	28.6	27	8	50.4	
24	113	33	0.0	27	12	6.8	
25	113	24	2.1	27	16	48.5	
26	113	18	20.3	27	25	56.4	
27	113	9	5.9	27	30	39.6	
28	113	1	17.7	27	35	36.6	
29	112	57	10.1	27	32	48.3	
30	112	53	55.5	27	34	12.4	
31	112	40	41.5	27	31	58.1	
32	112	35	26.9	27	28	11.4	
33	112	30	18.7	27	22	3.1	
34	112	27	45.8	27	20	12.9	
35	112	28	59.6	27	18	54.9	
36	112	27	42.4	27	15	49.8	
37	112	29	14.9	27	13	43.5	
38	112	33	10.5	27	11	56.1	
39	112	33	41.7	27	8	20.0	
1	112	31	24.5	27	3	58.9	

1.2 Situación Administrativa del acuífero

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

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

La porción norte y oeste del acuífero se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera “El Vizcaíno”, declarada mediante decreto con fecha 30 de noviembre de 1988.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la región que comprende el territorio que cubre el acuífero se han llevado a cabo algunos estudios geohidrológicos de evaluación, entre los más importantes podemos mencionar los siguientes:

ESTUDIO PRELIMINAR DE PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA EN EL ÁREA DE SAN IGNACIO, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., en 1977. El objetivo principal de este estudio fue identificar fuentes de abastecimiento para uso turístico y minero; realizar un censo de aprovechamientos, analizar la calidad del agua; así como elaborar la clasificación y descripción hidrogeológica de 10 unidades principales, agrupadas por rangos de permeabilidad.

Como parte de sus recomendaciones establece no construir obras de captación aguas arriba de la zona de manantiales para no interceptar volúmenes ya comprometidos; para el uso doméstico recomienda la excavación de norias de poca profundidad y gastos menores a 5 l/s, sobre los cauces de arroyos en las proximidades de la costa.

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA DE LA CUENCA SAN IGNACIO EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR. Elaborado por Clarión, S.A., en 1980. Su principal objetivo fue identificar sitios favorables para la construcción de obras de captación. Los resultados indican que la cuenca se puede dividir en dos zonas: 1) Zona Norte, con una topografía de gradientes fuertes hacia el mar, 2) la zona sur, en cambio, presenta zonas de planicie costera con pendientes menores a 1.5%.

Dichas zonas son conocidas como Los Mártires y NCPE Alfredo V. Bonfil; el estudio recomendó que las nuevas perforaciones se realizaran a profundidades entre 150 y 200 m y que el volumen total de extracción no superara los 3 m³/s para mantener el equilibrio.

ESTUDIO DE REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO PIEZOMÉTRICO DE LOS ACUÍFEROS DE: VIZCAÍNO Y SAN IGNACIO, B.C.S. Elaborado por Hidroproject, S.C en 2009. Entre sus objetivos principales destaca establecer una red de monitoreo piezométrico, conocer la evolución y la condición actual de los niveles del agua

subterránea, establecer un marco de referencia actualizado para identificar los cambios que generen los desarrollos futuros y plantear el balance de aguas subterráneas para determinar la disponibilidad.

Para el balance de aguas subterránea divide el acuífero en tres unidades hidrogeológicas independientes. Para cada una de las tres cuencas se identificaron y calcularon las entradas y salidas del agua subterránea, cambio de almacenamiento y disponibilidad media anual del agua subterránea. Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

Fisiográficamente el acuífero se localiza dentro de la Provincia de Baja California (INEGI 1995), dentro de la subprovincia Sierra La Giganta, discontinuidad Desierto de San Sebastián Vizcaíno y discontinuidad Llanos de Magdalena.

Subprovincia Sierra de la Giganta. Se extiende desde el sureste de la sierra La Libertad, en el vecino estado de Baja California, hasta el suroeste de La Paz, cubriendo una superficie de 30,785 km², que representa un poco más del 45% del territorio estatal y representado por un sistema montañoso de orientación noroeste-sureste, que conforma parte de la cordillera peninsular y cuyo relieve conforma sierras altas con mesetas y mesetas basálticas con cañadas (Raisz, 1962). Las montañas más elevadas se localizan al norte, alcanzando 1,920 msnm en el volcán Las Vírgenes, mientras que hacia el sur se observa una progresiva disminución hasta terminar en lomeríos.

Discontinuidad del desierto de San Sebastián Vizcaíno. Se origina en el vecino estado de Baja California, su límite al sur es el Océano Pacífico y alcanza una extensión de 15,670 km² que corresponde al 23.37% de la superficie estatal. Existe una pequeña zona montañosa al occidente de la discontinuidad que conforma la sierra de San José de Castro, la cual está constituida por rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas del Mesozoico y el Terciario. El desierto de San Sebastián Vizcaíno, por su parte, se conforma principalmente de material clástico sedimentario marino y continental del Cuaternario y presenta una superficie ondulada con pocas colinas bajas y dunas del tipo de media luna (barjanas), orientadas en dirección noroeste-sureste.

Discontinuidad Llanos de Magdalena. Se sitúa conformando una depresión fisiográfica cuyos flancos, al norte y al oriente, son la subprovincia Sierra La Giganta, al poniente y al sur del Océano Pacífico y al sureste la discontinuidad Del Cabo. Ocupa una superficie de 16,755 km² que corresponde al 21.14% del territorio estatal. Más de la mitad de la zona costera de la discontinuidad está formada por llanuras con dunas, mientras que en los límites con la sierra, al oriente, se localizan algunas bajadas y lomeríos.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de climas de Köppen, modificada por E. García (1964), el clima imperante dentro del acuífero es del tipo BW (h') hw (x'), que corresponde a un clima muy seco o desértico, muy cálido con régimen de lluvias en verano y en invierno. Hacia la parte alta de la Sierra La Giganta el clima cambia a tipo BW_hw(x'). Estos climas son muy secos, semicálidos y cálidos, cuya característica principal son sus temperaturas diurnas extremas así como la humedad ambiental que prevalece.

Dentro de la poligonal del acuífero encontramos las siguientes estaciones climatológicas: El Mezquital, Patrocinio, San José del Pacífico, Santa Martha, San Ignacio, San Zacarías, Punta Abreojos, El Dátil, Guadalupe, San Miguel, San José de Gracia, San Antonio de La Sierra, San Raymundo y San Juanico. Para el análisis de las condiciones climáticas de la región, se analiza la información de la estación climatológica ubicada en San Ignacio, con un registro de 69 años que comprende el periodo 1940-2009 y se ubica en la parte media, entre la sierra

La Giganta y la línea de costa, que es susceptible a la incidencia de lluvias de tipo ciclónico como son las depresiones tropicales, tormentas y huracanes que representan un serio peligro para la población, pero que significan precipitaciones de alta intensidad y corta duración que a su vez generan los escurrimientos superficiales en forma de avenidas torrenciales que afectan además el cuerpo de la cortina de la presa al ser rebasado por estas avenidas extraordinarias. La precipitación se incrementa desde la parte baja de la línea de costa hasta la parte alta del Volcán Las Tres Vírgenes que conforma parte de la Sierra La Giganta y que alcanza aproximadamente una altitud de 1920 msnm. Conforme a su registro histórico la precipitación promedio anual es de 98.4 mm, con valores extremos de 316.9 mm y 2 mm.

Presenta una temperatura promedio anual de 21.4 °C, con la temporada de calor de junio a septiembre, registrando la temperatura máxima de 30.5 °C en el mes de julio y agosto y mínima de 13.5 °C en el mes de enero.

3.3 Hidrografía

El acuífero San Ignacio se ubica en la Región Hidrológica 2 (RH2), denominada Baja California Centro-Oeste, dentro de la cuenca de la Laguna de San Ignacio que se extiende desde Santa Catarina, B.C. a los límites del acuífero San Ignacio y La Purísima, B.C.S.

Los principales arroyos que drenan en el área del acuífero son: El Porvenir, San Esteban, Los Mártires, Las Juntas, Las Mulas, La Higuera, Palo Verde, San Juan, San Ignacio, Hondo, San Regis, Seco, Santa Isabel, San Tadeo, El Patrocinio, San Pedro y San José de Gracia. Estos arroyos se caracterizan por un drenaje de tipo dendrítico, rectangular y en ocasiones radial.

Todos los arroyos de la porción norte drenan en forma radial hacia la Laguna de San Ignacio y en la parte sur, desde el arroyo Santa Isabel hasta San José de Gracia, drenan directamente al Océano Pacífico.

3.4 Geomorfología

Los rasgos morfológicos en general dentro del área que cubre el acuífero San Ignacio denotan un estado geomorfológico de madurez por la presencia de la Zona Montañosa en la que se destacan las mesetas de basaltos, la sierra de San Francisco y el volcán de Las Tres Vírgenes con un desnivel de 1,920 metros aproximadamente y una planicie costera.

Zona Montañosa

Está representada principalmente por las prominencias topográficas de la Sierra La Giganta y el Volcán de Las Tres Vírgenes; la cual está constituida en un 90% por la Formación Comondú (TFC), litológicamente constituida por la acumulación de clásticos y corrientes ígneas extrusivas básicas asociadas a materiales piroclásticos, con inclinación general suave hacia el Pacífico.

En menor proporción se presentan formaciones sedimentarias terciarias, coronadas por una serie de derrames de basalto, que han moldeado una topografía muy

característica en forma de mesetas (CIS). La pendiente promedio de esta zona es del orden de 25% aproximadamente, de topografía abrupta con fuertes desniveles, en donde las corrientes torrenciales de régimen ocasional han excavado valles en forma de "V" y gargantas, con predominio de erosión vertical profunda y escasa lateral.

La orientación de los valles es perpendicular a la costa, con drenaje abundante en las partes altas o cabeceras donde se forman las cuencas de recepción, prosiguiendo su curso los canales de desagüe que forman el lecho del río, hasta llegar al cono de deyección o parte inferior donde termina su curso; en este caso la planicie costera y de la Laguna de San Ignacio.

Llanura Costera

También conocida como Zona Desértica o Desierto de Vizcaíno, se localiza en la porción occidental del acuífero, con una orientación de norte a sur de forma triangular, cuya base está en la parte austral. La Laguna de San Ignacio, ocupa la porción oeste con forma sensiblemente alargada, quedando en el extremo más occidental de la Sierra del Coyote o de Vizcaíno que constituye el parteaguas hidrográfico de la zona. Al oriente colinda con la Sierra de La Giganta.

La llanura presenta una topografía moderada con pendientes regulares (1 a 2 %) con una altitud promedio de 100 metros y se encuentra constituida en el subsuelo por sedimentos Cenozoicos que alcanzan un espesor de 3,500 m (Ing. Federico Mina U), terrazas marinas del Reciente, compuestas por coquinas arenosas y conglomerados cubiertas por reducidos espesores de depósitos fluviales y eólicos. Presenta un desarrollo costero de unos 85 km, desde Punta Abrejos hasta 10 km antes del arroyo de San Benito, donde termina la cuenca hidrográfica, a su vez se divide en dos unidades fisiográficas y geológicas diferentes, una desértica con ausencia de suelos orgánicos y la región lagunar.

4. GEOLOGÍA

Como se mencionó anteriormente, en el área el acuífero se localiza la Sierra La Giganta, que cubre la región centro-oeste de la Península de Baja California, representada en la parte alta por la sierra de San Francisco y el Volcán de Las Tres Vírgenes, y en su parte baja integra la zona costera del acuífero y la laguna marginal de San Ignacio.

La Sierra La Giganta está constituida por rocas ígneas intrusivas dioríticas y por rocas volcánicas terciarias que varían desde basaltos, tobas y brechas volcánicas (figura 2).

Esas rocas volcánicas del Terciario Superior (Ts) han desarrollado una geomorfología variada, que en conjunto pertenecen a la Formación Comondú.

En la planicie costera próxima a la Laguna de San Ignacio y al Océano Pacífico se encuentran los materiales más recientes los cuales están conformados por dunas, depósitos de litoral, aluvión y conglomerado polimíctico (figura 2).

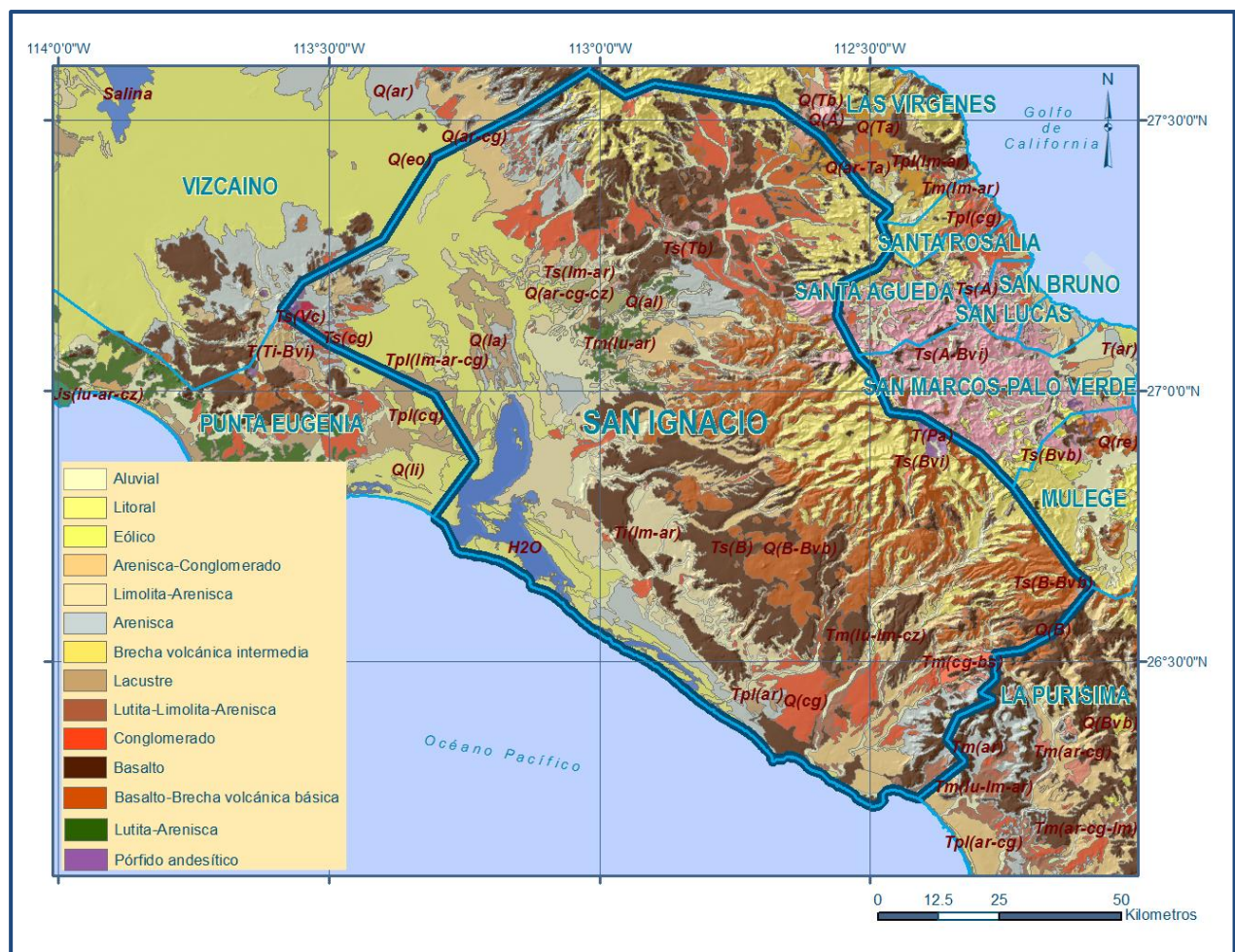


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

Las unidades litológicas que afloran en la superficie que cubre el acuífero comprenden rocas sedimentarias, vulcanosedimentarias, intrusivas y extrusivas, agrupadas en

diversas formaciones que comprenden un registro estratigráfico que abarca desde el Triásico Superior al Holoceno. Las rocas más antiguas se distribuyen en el límite NW del acuífero, son de origen vulcanosedimentario y pertenecen a la **Formación San Hipólito** de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior, compuesta en su base por lavas almohadillas y hacia la cima por una alternancia de lutitas, areniscas, pedernal y calizas con radiolarios.

La formación anterior es cubierta discordantemente por la **Formación Valle** del Cretácico Superior, constituida por una intercalación de areniscas, lutitas y en menor proporción conglomerados, con pliegues de amplio radio, producto de la Orogenia Laramide.

Los afloramientos de esta unidad se presentan al sur de la Sierra Santa Clara. Cubriendo discordantemente sobre la secuencia anterior, se depositó la **Formación Bateque** de edad Paleoceno-Eoceno, compuesta por una alternancia de limolitas y areniscas. Los afloramientos de esta unidad se localizan principalmente al sur de la Sierra Santa Clara y al oeste de la Laguna de San Ignacio.

Descansando discordantemente sobre la secuencia anterior se encuentra la **Formación San Gregorio** de edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, distribuida de forma irregular al sureste del acuífero sobre las márgenes de los arroyos San Raymundo y Cadejé. Está constituida por una alternancia de lutitas silicificadas, fangolitas, areniscas, capas fosfatadas, diatomitas y delgados horizontes de tobas.

El Plioceno está representado por la **Formación Almeja**, compuesta por areniscas conglomeráticas fosilíferas, coquinas y limolitas; sus afloramientos se distribuyen al oeste de la Laguna San Ignacio y al noroeste de la Bahía de San Juanico. Sobreyace en discordancia a los basaltos fisurales del Mioceno.

Durante el Pleistoceno se originaron una serie de aparatos volcánicos en una franja con dirección noroeste, desde el poblado de San Isidro al rancho El Patrocinio, en la parte central del acuífero, que dieron lugar a extensas zonas de derrames de composición basáltica con edades que varían de 0.47 a 0.9 Ma.

Sobre estos derrames se depositaron discordantemente terrazas marinas compuestas por areniscas y limos; así como también horizontes fosilíferos distribuidos hacia la línea de costa.

En el Holoceno se depositaron sedimentos que comprenden terrazas construidas por conglomerados polimícticos mal clasificados con matriz areno-arcillosa, depósitos de aluvión de un rango granulométrico muy amplio que va desde limos a cantos rodados, depósitos litorales y eólicos.

4.2 Geología Estructural

El marco tectónico de la península se encuentra íntimamente ligado con la historia geológica del margen noroccidental mexicano durante el Mesozoico Superior - Terciario Inferior y a la posterior apertura del Golfo de California.

El margen continental del noroccidente de México fue la placa superior o pasiva de una frontera de placas convergentes a lo largo de la mayor parte del Terciario (Atwater, 1970) lo que produjo un arco volcánico. Las rocas volcánicas del Oligoceno y Mioceno en el occidente de México están relacionadas con esta subducción terciaria.

El marco geológico de la región del Golfo de California y de la Península de Baja California, así como los eventos magmáticos están íntimamente conectados con los regímenes tectónicos de esta subducción del Terciario (entre 16 a 12.5 Ma.) y con un proceso de apertura continental, bajo un marco tectónico de extensión que inició aproximadamente hace 13 Ma.

La formación de corteza oceánica en el Golfo de California probablemente inició hace 8.3 Ma. Según un modelo reciente de Lyle y Ness (1991); desde ese momento, la península se ha desplazado hacia el noroeste, estimándose mediante tres modelos de la deriva continental un desplazamiento de 450 a 600 km desde hace 14 Ma.

Estructuralmente, en la zona se manifiestan bloques escalonados con sensible basculamiento provocado por fallamiento originados por movimientos de naturaleza extensional y finalmente el desarrollo de intrusivos o aparatos volcánicos alineados a estructuras regionales principalmente.

El sistema estructural consiste de fallamientos en sentido N-S considerando el más antiguo, el segundo con orientación de N30°-60°W y menos frecuente con dirección N30°-50°E, todos de tipo normal y con buzamientos al oriente poniente entre 50°-86°.

4.3 Geología del subsuelo

El acuífero San Ignacio está conformado por un medio granular constituido por materiales aluviales y conglomerados, provenientes de la erosión de las partes altas de la Sierras de la Giganta (San Francisco, Volcán Las Tres Vírgenes y El Potrero) que han sido transportados por los escurrimientos superficiales y depositados en los cauces de los arroyos y en la planicie costera.

Su espesor varía desde algunos metros hasta 80 m y conforma un acuífero de baja capacidad de almacenamiento. Este es el acuífero que actualmente se explota; sin embargo, a mayor profundidad las rocas volcánicas y sedimentarias fracturadas tienen un potencial que no ha sido aún explorado. Se encuentra bordeado por las rocas volcánicas de las facies impermeables de la Formación Comondú, que constituyen las barreras laterales e inferiores y al oriente por una frontera de carga constante representada por la Laguna San Ignacio en la Zona "A" y "B" y el Océano Pacífico en la Zona "C".

El ancho de la planicie costera alcanza hasta 100 m. La figura 3 muestra una sección geológica esquemática típica de la porción sur y norte del acuífero.

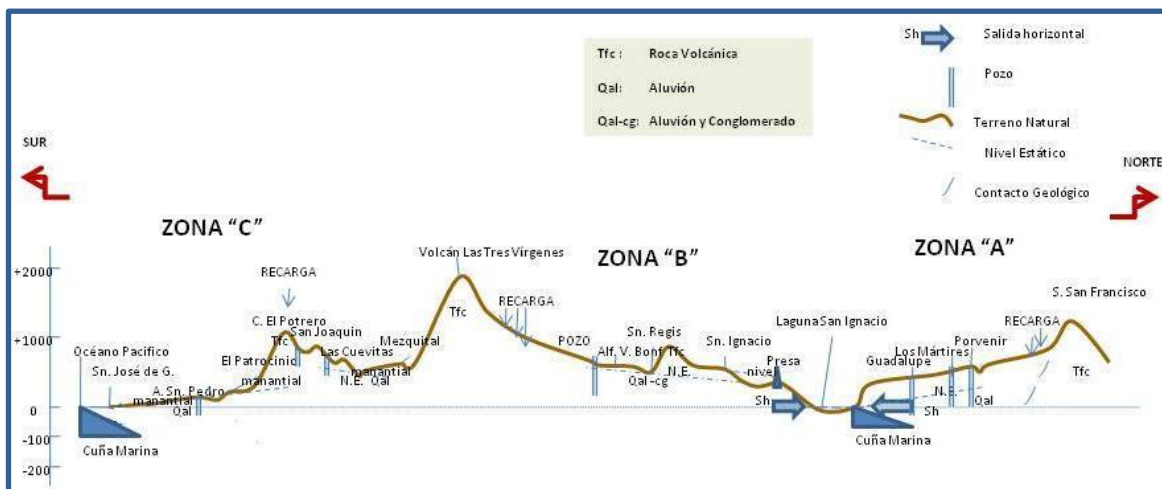


Figura 3. Sección geológica general de las tres zonas del acuífero

5. HIDROGEOLOGÍA

Hidrogeológicamente se identifican 8 unidades principales que se agruparon por rangos de permeabilidad. Las permeables, actúan como zonas de recarga y también como acuíferos, mientras que las impermeables funcionan como fronteras y barreras al flujo subterráneo.

Las rocas del complejo ígneo sedimentario (CIS), que abarca formaciones del Cretácico Superior al Mioceno Superior, se consideran impermeables.

A continuación, se describen dichas unidades en orden decreciente de permeabilidad tanto para formaciones cuaternarias (Q) como terciarias:

Depósitos fluviales (Qf). Se encuentran constituidos por materiales de acarreo como son: boleos gruesos sueltos, gravas y arenas con muy poca arcilla. Los fragmentos y boleos provienen de las formaciones volcánicas, presentando las arenas un color gris característico del basalto que aflora en la región. Estos depósitos se encuentran restringidos a los cauces o lechos de los arroyos más grandes en donde su espesor es mayor, en ellos se localizan las fuentes más importantes de abastecimiento. Funcionan como canales de alta permeabilidad con agua de buena calidad y representan las zonas con mejores condiciones para la explotación, por medio de pozos someros o galerías filtrantes.

Depósitos aluviales (Qal). Constituidos por materiales de acarreo como son gravas y arenas con limos y arcillas, con una delgada capa de suelos orgánicos. El espesor de esta unidad es variable, alcanzando hasta 4 m y en otras es prácticamente inexistente. Cubren una parte de la planicie en la porción noroeste del acuífero y sobreyacen a los sedimentos marinos y continentales de edad terciaria. Su permeabilidad disminuye por la presencia de arcilla y limos.

Abanicos aluviales y pie de monte (Qab). Constituidos por materiales de acarreo que varían de boleos gruesos sueltos (1 a 6 cm) hasta enormes cantos rodados de rocas volcánicas (mayores a 30 cm) con arenas gruesas empacadas en limo. Funcionan como colectores del agua de precipitación y representan zonas de almacenamiento temporal de infiltración proveniente de los escurrimientos, la cual drenan hacia las partes bajas. No constituyen acuíferos y forman una unidad permeable.

Depósitos fluviales mixtos (Qfm). Conforman las dos unidades que presentan características de depósitos fluviales y aluviales. Están constituidas por gravas y arenas gruesas con interdigitaciones de sedimentos finos como son limos y arcillas de la planicie aluvial. Cubren la porción centro y NW de la zona, sobreyaciendo a formaciones marinas terciarias y terrazas recientes.

Debido a las interdigitaciones de sedimentos finos y gruesos poseen baja permeabilidad, constituyendo localmente acuíferos con agua de mediana a mala calidad.

Depósitos lacustres (Ql). Constituida por coquinas arenosas y conglomerados que se localizan en los alrededores de la laguna, así como salitrales y evaporitas.

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar que el acuífero es de tipo libre y está constituido por sedimentos aluviales y fluviales depositados en los subálveos de los arroyos y en la planicie costera.

Se encuentra definido principalmente por 3 zonas, una a la altura de la localidad del Nuevo Centro de Población Ejidal Alfredo V. Bonfil (CUENCA B), cuyo nivel freático descarga en un manantial y se almacena en la Presa San Ignacio aguas abajo, una segunda al norte del área del acuífero sobre la planicie aluvial, a la altura de las localidades del Porvenir, Los Mártires y Guadalupe (CUENCA A), cuyo flujo subterráneo genera una zona de mezcla con el agua marina sobre la línea de costa y marismas de la laguna de San Ignacio; y una tercera al sur de la Laguna San Ignacio a la altura de las localidades de San Joaquín, San Zacarías y San José de Gracias (CUENCA C), cuya alimentación proviene en su mayoría de la infiltración que se origina en la planicie debido a los escurrimientos superficiales generados por los manantiales que se alimentan de las lluvias en la parte alta de la Sierra La Giganta y cuyo flujo subterráneo de salida genera una zona de mezcla con el agua marina sobre la línea de costa del Océano Pacífico.

Aunque el valor de la precipitación pluvial media anual es bajo, la presencia ocasional de los huracanes tiene un efecto muy importante sobre la alimentación de los manantiales existentes en este acuífero y en su recarga principalmente.

5.2 Parámetros hidráulicos

Para el de la cuenca “A”, Los Mártires”, existe información de pruebas de bombeo realizadas en los años 2000 y 2003. El valor de la transmisividad promedio es de 0.004 m²/s, para el coeficiente de almacenamiento (S), se estima un valor de 0.06.

Con respecto a la cuenca “B”, de acuerdo con una prueba de bombeo realizada en 1980, se considera un valor de transmisividad de 0.00397 m²/s y un coeficiente de almacenamiento de 0.025.

5.3 Piezometría

Para el análisis piezométrico del acuífero se cuenta con la información correspondiente al periodo 2000-2009.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con las configuraciones, para el año 2009 la zona de los Mártires (Cuenca A) presenta profundidades que varía de 5 m a 45 m (figura 4) y para la zona este de la cuenca de 40 m a 65 m (figura 5), mientras que para la zona de San Ignacio (Cuenca B), los valores son someros.

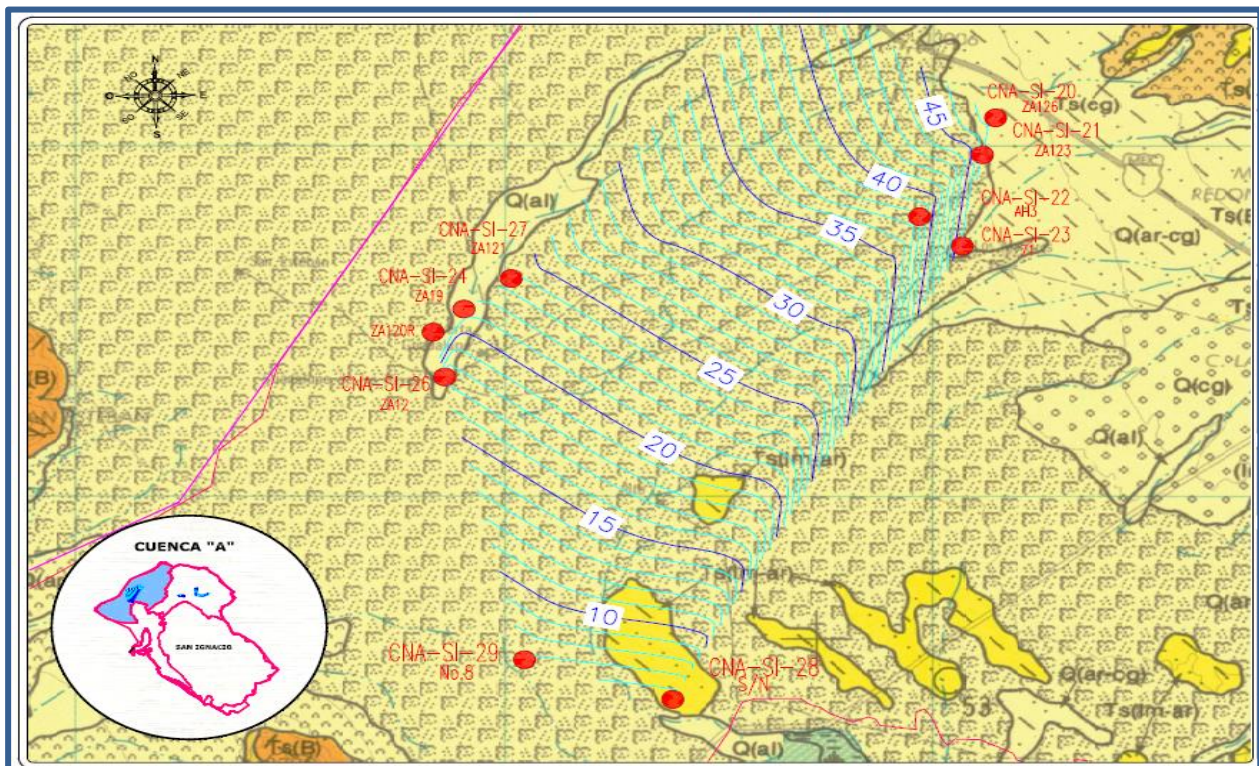


Figura 4.- Profundidad al nivel estático en m (2009). Cuenca A

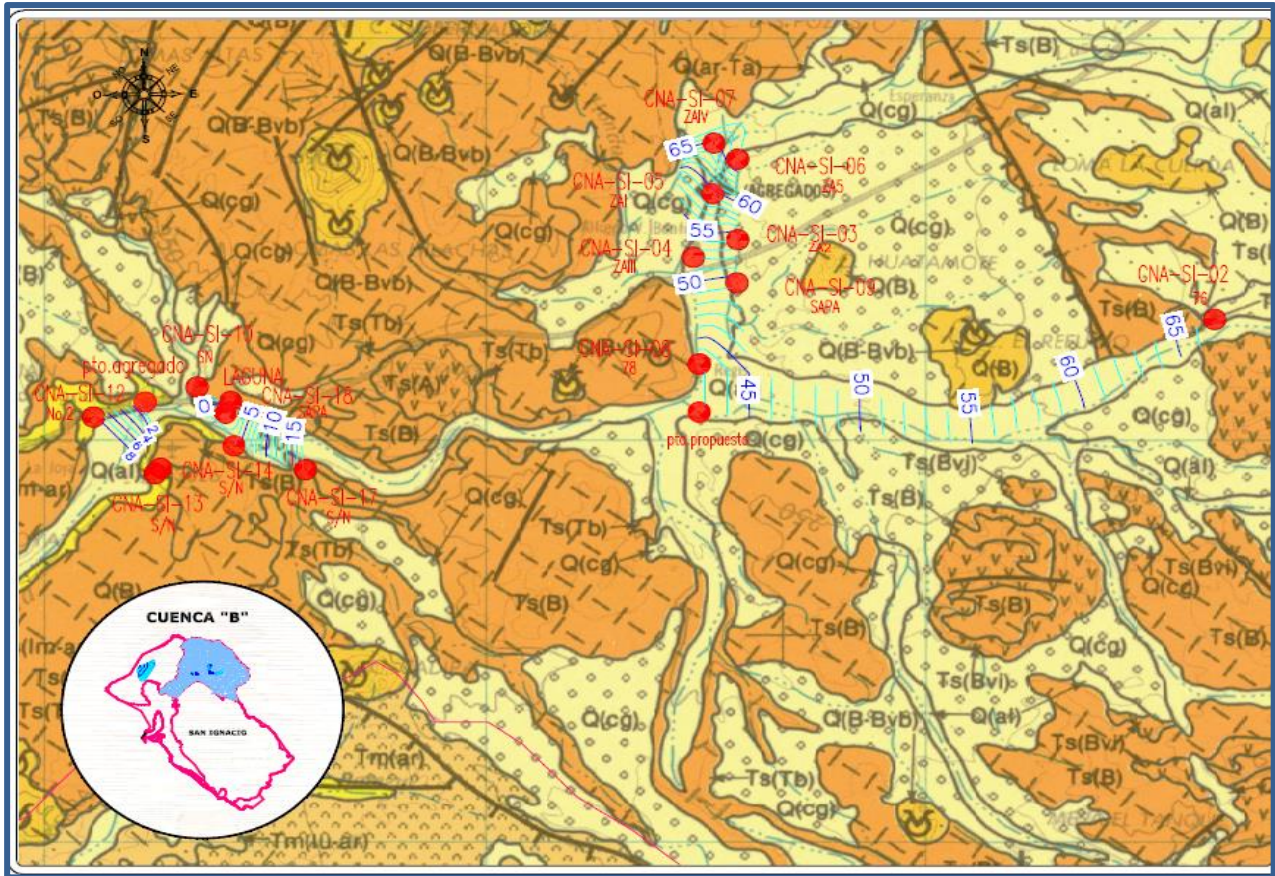


Figura 5. Profundidad al nivel estático en m (2009). Cuenca B

5.4.2 Elevación del nivel estático

Para el año 2009 en la zona de Los Mártires (Cuenca A) se presentan elevaciones que van de los 10 a 40 msnm (figura 6), localizándose los valores mayores en la porción norte, en las proximidades a la carretera San Ignacio–Vizcaíno, mientras que los valores más bajos se localizan al Sur, en donde descargan los escurrimientos a la Laguna de San Ignacio.

En la zona de San Ignacio (cuenca B) se registran valores de 108 a 300 msnm, en función de la topografía del terreno (figura 7)

Para el caso de la cuenca de estudio C, solo se tienen los datos de dos pozos localizados en la zona, los cuales se muestran a continuación:

Propietario	No.	Predio	Y	X	Clave	Cota de Brocal	C.H
Ernesto Murillo	S/N	San Joaquín	3007831	315564	CNA-SI-15	155.3809	152.4
Reyes Murillo	S/N	Rancho San Zacarías	3003169.81	311230.03	CNA-SI-16	100.3762	96.7

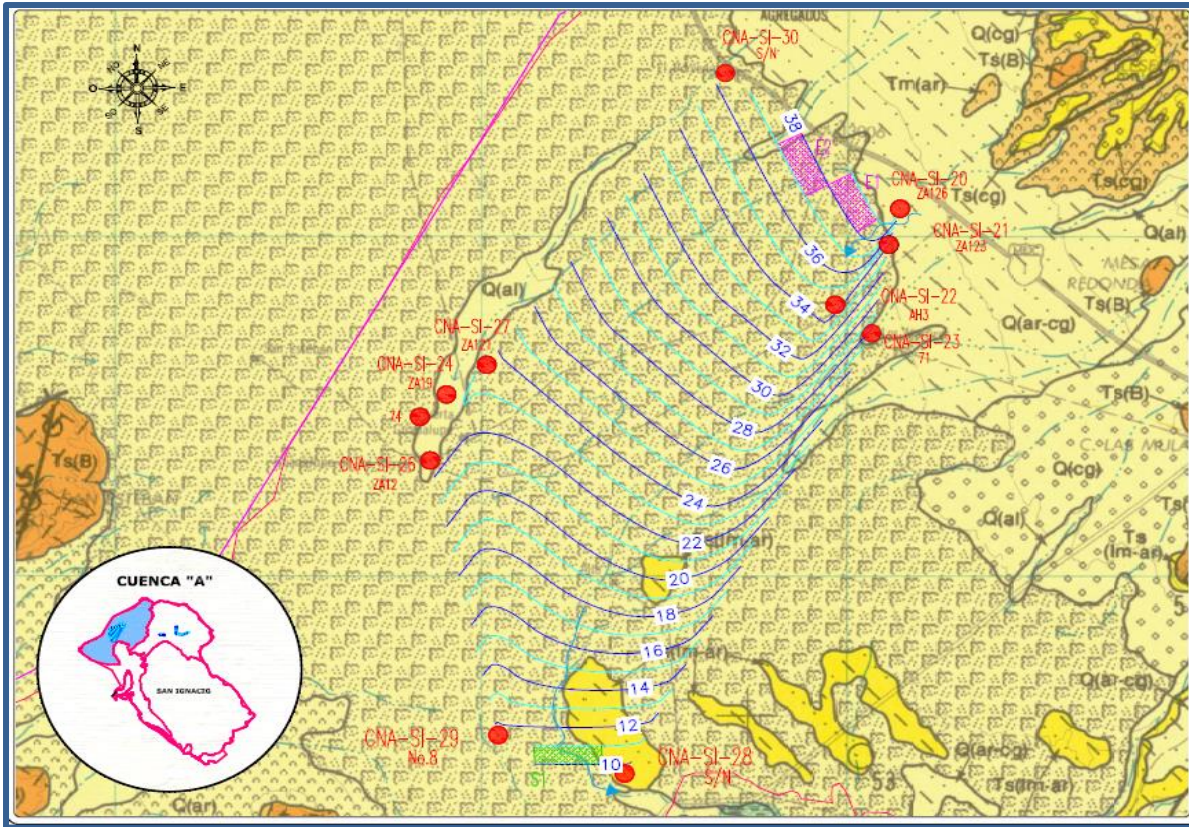


Figura 6.- Elevación del nivel estático en msnm (2009). Cuenca A

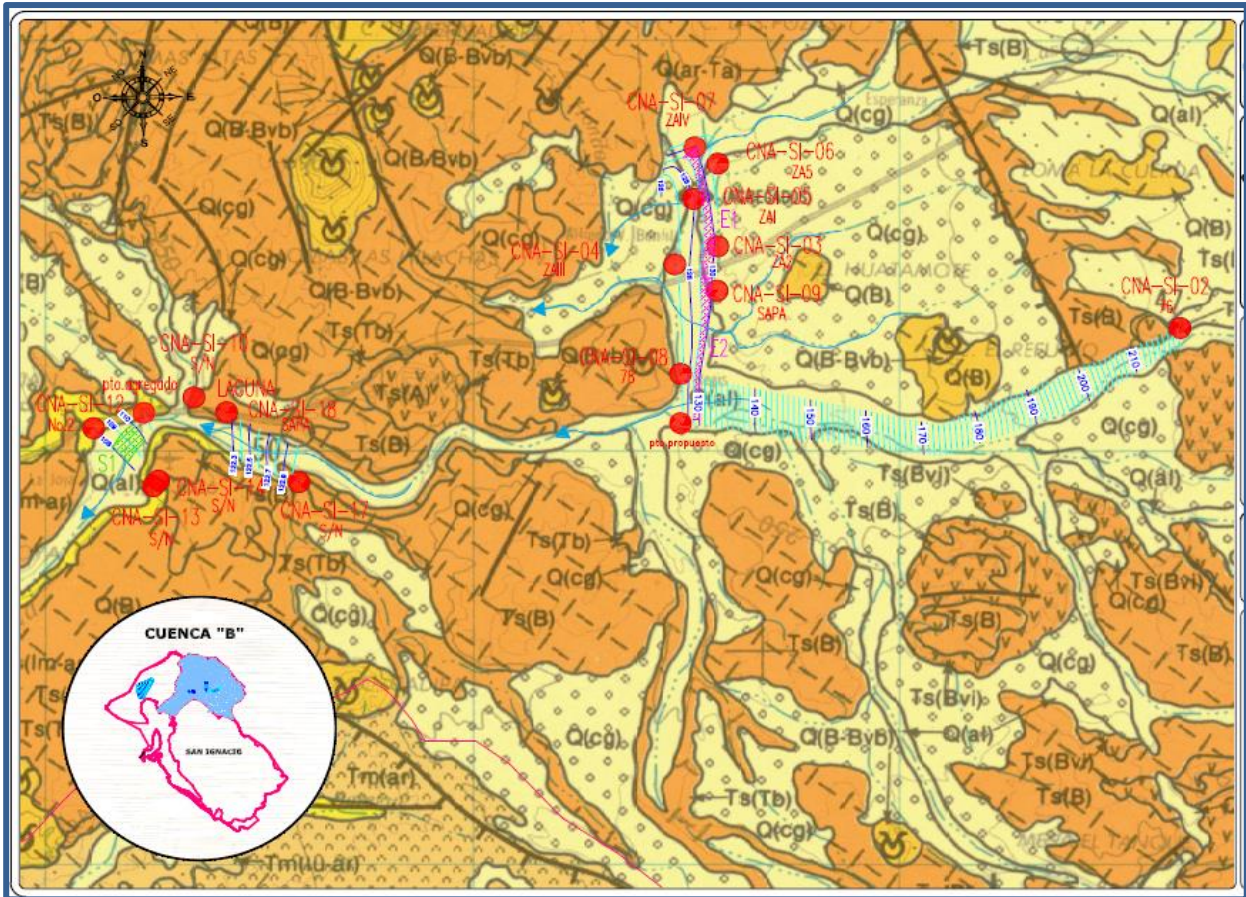


Figura 7.- Elevación del nivel estático en msnm (2009). Cuenca B

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2000-2009 (figuras 8 y 9), para la Cuenca A, en la zona de Los Mártires, se registran abatimientos máximos de 2 m en la porción noroeste, en el límite con el acuífero de Vizcaíno, y la localidad de San Ignacio; así como algunas recuperaciones de aproximadamente 1.5 m en la zona este del acuífero.

Para el caso de los abatimientos, el promedio anual es de 0.2 m, y para la recuperación 0.16 m.

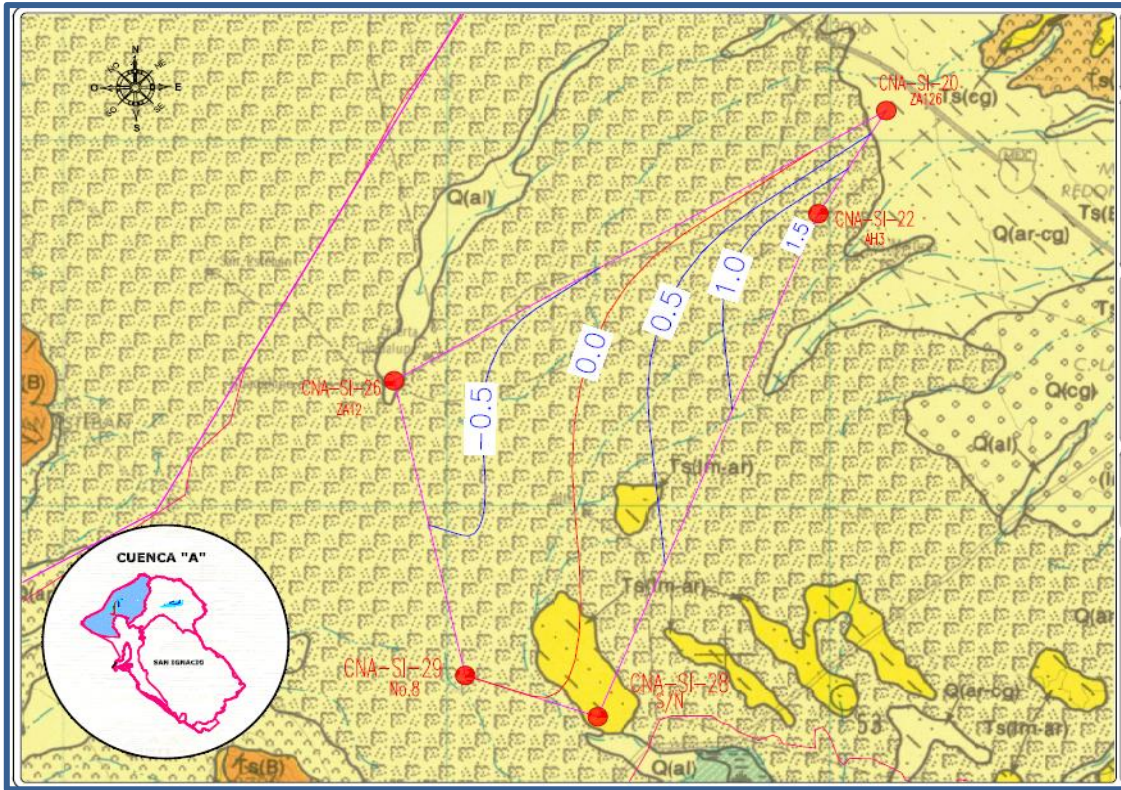


Figura 8. Evolución del nivel estático en m (2000 – 2009). Cuenca A

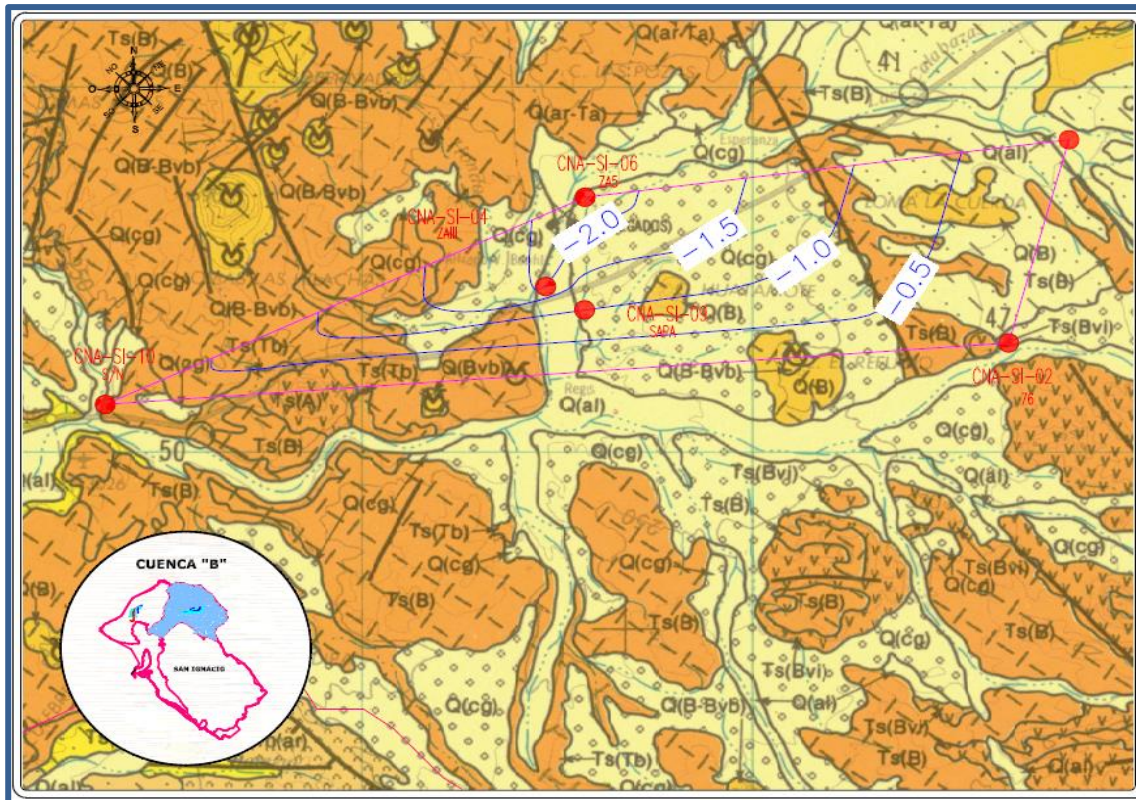


Figura 9. Evolución del nivel estático en m (2000-2009). Cuenca B

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De acuerdo con información obtenida de muestreos (28 pozos) realizados por la Dirección Local de la CONAGUA en Baja California Sur, la calidad del agua, tomando en cuenta los resultados de los análisis fisicoquímicos, se puede observar que los valores de sólidos totales disueltos (STD) para la mayoría de las muestras del acuífero están debajo del valor máximo permisible de 1000 mg/lit establecido en la Norma Oficial Mexicana Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua” Para una tercera parte de las muestras, las concentraciones de STD superan las 1000 ppm y en la zona costera se registran valores puntuales que superan las 3000 ppm.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con el último censo de aprovechamientos realizado en el acuífero (2008), se registraron un total de 253 aprovechamientos del agua subterránea, todos ellos activos, de los cuales 28 son pozos, 225 norias, mientras que 200 son manantiales. Del total de aprovechamientos 80 son para uso agrícola, 160 para uso pecuario, 6 para uso doméstico, 4 para uso público-urbano, 2 más para uso industrial y 1 de servicios.

En conjunto el volumen de extracción asciende a **4.9 hm³ anuales**, de los cuales 3.756 hm³ (76.08%) se destinan al uso agrícola, 0.259 más (5.25%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico-abrevadero, 0.914 hm³ (18.5%) para dotación de agua potable a los centros de población y los 0.00786 hm³ (0.16%) restantes para uso de servicios e industrial.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el período 2000 – 2009, en una superficie de 9,594 km² del valle, de los cuales 1,674 km² corresponden a la Cuenca “A”, 2,074 km² a la cuenca “B” y los 5,847 km² restantes a la Cuenca “C”, 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:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola en las zonas de cultivo. Este volumen se identifica como retornos de riego (R_r).

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que solo se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento (ΔV), así como las entradas y salidas por flujo subterráneo, el valor de la recarga vertical se calcula despejando R_v de la ecuación de balance:

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

Donde:

R_v = Recarga vertical;

E_h = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

R_r = Retornos de riego;

B = Bombeo;

S_h = Salidas por flujo subterráneo horizontal;

D_m = Descarga de manantiales;

ETR = Evapotranspiración;

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical se tiene que:

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

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 área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, 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, a partir de las configuraciones de elevación del nivel estático para el 2009 (mostradas en las figuras 6 y 7) en las cuales se seleccionaron los canales de flujo que representaban las entradas de agua subterránea al mismo, a través de la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

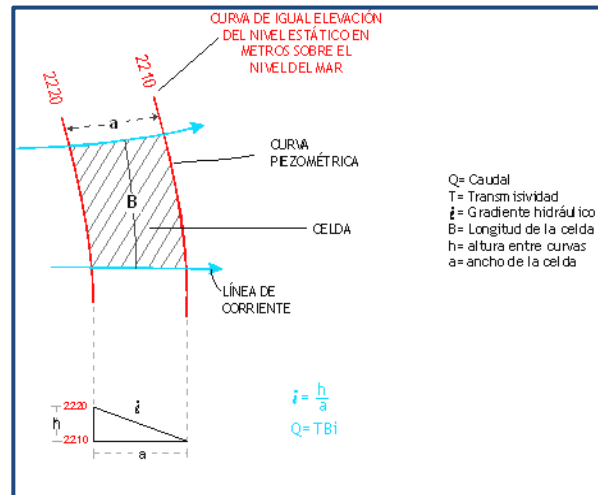
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



Los valores de las entradas horizontales subterráneas para cada celda se muestran en la tabla 2, donde E1 y E2 corresponden a la Cuenca A y la celda E3 a la Cuenca B

Tabla 2. Entradas por flujo subterráneo (2009)

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)
E1	1560	700	1	0.001428	0.0040	0.008914	0.3
E2	1685	720	1	0.001389	0.0040	0.009361	0.3
E3	6605	270	1	0.003703	0.00397	0.0971179	3.0
TOTAL							3.6

El valor total de las entradas horizontales subterráneas asciende a **3.6 hm³/año**.

7.1.3. Retornos de riego (Rr)

En la zona agrícola en donde se presenta la mayor concentración de las extracciones se manifiesta un retorno de los excedentes del riego al subsuelo nuevamente.

Considerando una recarga inducida del orden del 20% que se infiltra a través de los materiales aluviales característicos dentro del acuífero, el volumen por retorno de riego es de **1.6 hm³/año**.

Zona	Volumen de Aguas Subterráneas (hm ³ /año)	Volumen de Aguas Superficiales (hm ³ /año)	Volumen Total	Rr (hm ³ /año) Total * 20%
A	4.9	0.0	4.9	1.0
B	1.9	0.03	1.9	0.4
C	0.44	0.55	1.0	0.2
TOTAL:				1.6

7.2 Salidas

Las salidas representan la descarga del acuífero la cual ocurre principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh), evapotranspiración (ETR) y descarga de manantiales (Dm).

7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **4.9 hm³/año**, de los cuales 2.93 hm³/año corresponden a la Cuenca A, 1.75 hm³/año para la Cuenca B y los 0.26 hm³/años restantes a la Cuenca C.

7.2.2 Salidas horizontales subterráneas (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 2009, donde el valor de la celda S1 corresponde a la Cuenca A y el valor de la celda S2 a la Cuenca B, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Salidas por flujo subterráneo en el año 2009.

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	1840	550	1	0.001818	0.004	0.0133818	0.4
S2	505	710	2	0.0028169	0.00397	0.0056474	0.2
TOTAL							0.6

El valor total de las salidas por flujo subterráneo horizontal es de **0.6 hm³/año**.

7.2.3 Evapotranspiración (ETR)

Este parámetro es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, por lo tanto, es considerada una forma de pérdida de humedad del sistema.

Existen dos formas de evapotranspiración: la que considera el contenido de humedad en el suelo y la que considera la etapa de desarrollo de las plantas (evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real), el escurrimiento y el volumen de evapotranspiración real (ETR).

De la configuración de profundidad al nivel estático para los años 2000 y 2009, mostrada en las figuras 4, 5, 6 y 7 para las cuencas A y B, se puede observar que los valores de profundidad más someros son del orden de los 5 metros y se restringen a pequeñas zonas. Por lo tanto, para fines del balance de aguas subterráneas la evapotranspiración se considera nula. **ETR = 0**.

7.2.4 Descarga por manantiales (Dm)

Para la cuenca B, este parámetro tomará un valor de **3.5 hm³** ya que constituye la descarga del manantial que es almacenado en la presa San Ignacio. En la cuenca C existe un volumen concesionado de manantiales de **0.8 hm³**, (REPDA).

En la cuenca A no se presentan manantiales. Por lo tanto la descarga total de manantiales en el acuífero es de **4.3 hm³ al año**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Con respecto a la evolución del nivel estático para el periodo 2000-2009 (figuras 8 y 9) se registran valores puntuales de abatimiento de hasta 2.0 m y de recuperación de 1.5 m.

Con base en la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático y considerando un coeficiente de almacenamiento $S = 0.06$ se determinó el cambio de almacenamiento (tabla 4), mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

ΔVS= 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;

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

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (2000–2009)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	Sy	ΔV(S) (hm ³ /año)
>1.5	1.5	0.2	0.06	0.00
1 a 1.5	1.25	4.4	0.06	0.30
0.5 a 1	0.75	9.6	0.06	0.40
0 a 0.5	0.25	18.4	0.06	0.30
	-0.25	26.3	0.06	-0.40
-1 aa -0.5	-0.75	21.6	0.06	-1.00
-1.5 aa 1	-1.25	14.7	0.06	-1.10
<1.5	-1.5	5.5	0.06	-0.50
0 a -0.5	-0.25	17.4	0.06	-0.30
-0.5 a -1	-0.75	14.8	0.06	-0.70
-1 a -1.5	-1.25	12.4	0.06	-0.90
-1.5 a -2	-1.75	10.2	0.06	-1.10
>-2	-2	3.0	0.06	-0.40
			TOTAL	-5.40
		Promedio anual		-0.6

El cambio de almacenamiento promedio anual calculado en dicho periodo es de **-0.6 hm³/año** de los cuales -0.2 son para la cuenca A y los -0.4 restantes para la cuenca B, y para la Cuenca C se considera que no hay un cambio de almacenamiento ya que se considera en equilibrio, por lo que $\Delta V(S) = 0 \text{ hm}^3/\text{año}$

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:

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

$$Rv = 4.9 + 0.6 + 4.3 + 0.0 - 0.6 - 3.6 - 1.6$$

$$R_v = 4.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + R_r + E_h$$

$$R = 4.0 + 1.6 + 3.6$$

$$R = 9.2 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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, su valor es de **9.2 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero San Ignacio se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **4.3 hm³ anuales**, que corresponden al volumen concesionado proveniente de manantiales.

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero. Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **8,028,180 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 9.2 - 4.3 - 8.028180 \\ \text{DMA} &= -3.128180 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **3,128,180 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. 2009. Estudio de reactivación de redes de Monitoreo Piezométrico de los acuíferos Vizcaíno y San Ignacio. Elaborado por la empresa Hidroproject, S.C.