



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO CALAMAJUÉ (0240), ESTADO DE BAJA
CALIFORNIA**

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.....	7
3.1 Provincia fisiográfica.....	7
3.2 Clima.....	8
3.3 Hidrografía.....	10
3.4 Geomorfología.....	10
4. GEOLOGÍA.....	11
4.1 Estratigrafía.....	11
4.2 Geología estructural.....	13
4.3 Geología del subsuelo.....	14
5. HIDROGEOLOGÍA.....	14
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos.....	14
5.3 Piezometría.....	15
5.4 Comportamiento hidráulico.....	15
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	15
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	15
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	16
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1 Entradas.....	19
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	19
7.1.2 Recarga inducida (Ri).....	19
7.1.3 Entradas horizontales por flujo subterráneo (Eh).....	19
7.2 Salidas.....	20
7.2.1 Evapotranspiración (ETR).....	20
7.2.2 Bombeo (B).....	20
7.2.3 Salidas horizontales por flujo subterráneo (Sh).....	20
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	21
8. DISPONIBILIDAD.....	22
8.1 Recarga total media anual (R).....	22
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	22
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	23
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
9. BIBLIOGRAFÍA.....	25

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 Calamajué, definido con la clave 0240 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sureste del Estado de Baja California, entre los paralelos 29° 14' y 29° 44' de latitud norte y entre los meridianos 114° 01' y 114° 18' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, dentro del municipio de Ensenada.

Colinda al norte con el Golfo de California, al sur con el acuífero La Bachata-Santa Rosalita, al este con Agua Amarga, al oeste con Laguna de Chapala, y al noroeste con el acuífero Bahía de San Luis Gonzaga, todos ellos del estado de Baja California, tiene una superficie aproximada de 935 km² (figura 1).

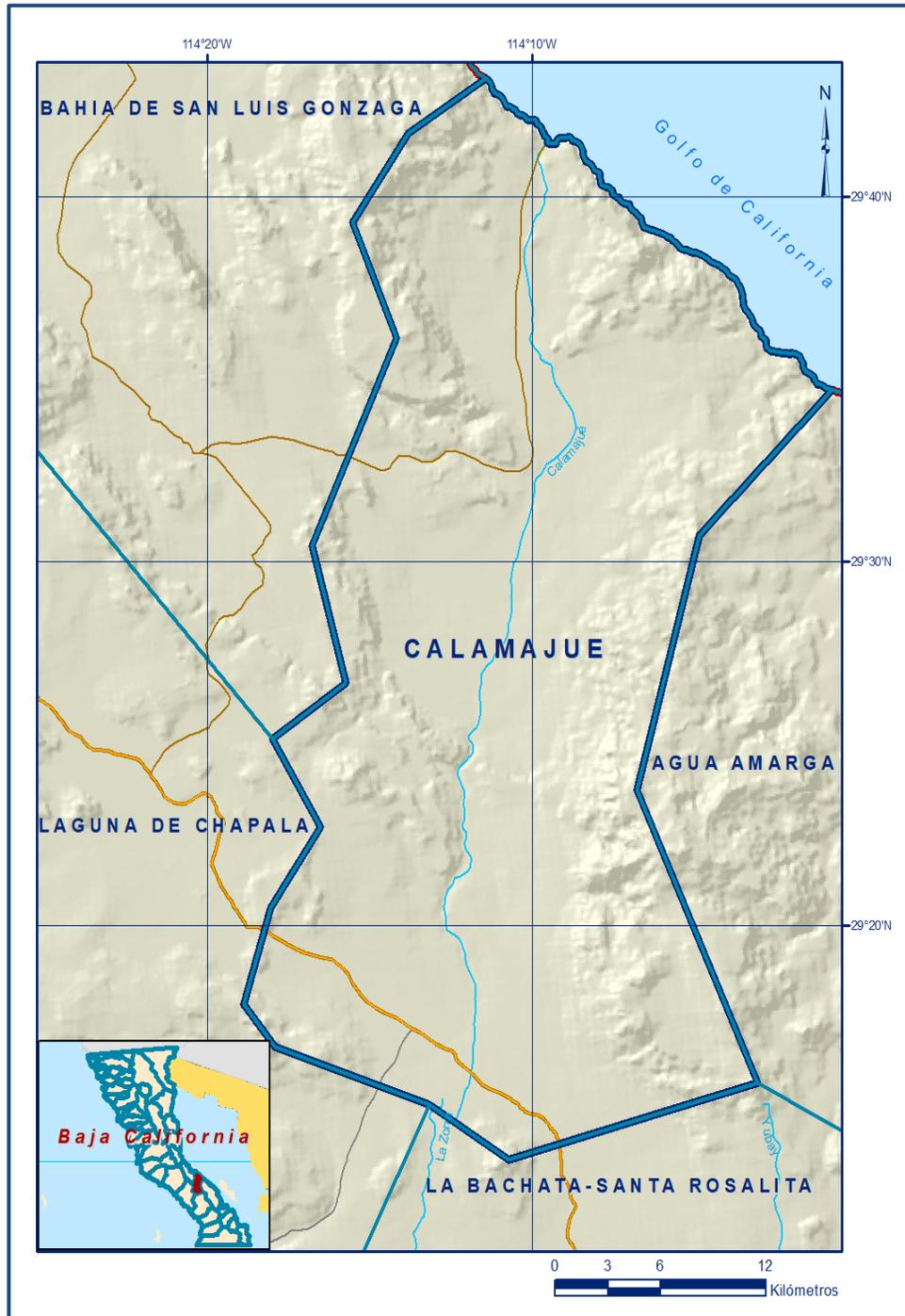


Figura 1. Localización del acuífero

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

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

ACUIFERO 0240 CALAMAJUE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	118	4	52.0	29	30	43.0	
2	118	6	47.0	29	23	43.6	
3	118	3	4.4	29	15	41.4	
4	118	10	44.4	29	13	36.1	
5	118	13	11.4	29	15	6.9	
6	118	17	56.4	29	16	41.6	
7	118	18	53.1	29	17	51.7	
8	118	18	3.7	29	20	30.4	
9	118	16	32.0	29	22	43.3	
10	118	18	0.0	29	25	7.3	
11	118	15	45.3	29	26	40.1	
12	118	16	47.6	29	30	26.1	
13	118	14	12.3	29	36	6.8	
14	118	15	32.7	29	39	18.0	
15	118	13	49.3	29	41	43.1	
16	118	11	26.8	29	43	14.3	DEL 16 AL 17 POR LA LINEA DE BAJ AMAR A LO LARGO DE LA COSTA
17	118	0	47.1	29	34	41.6	
1	118	4	52.0	29	30	43.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Calamajué pertenece al Organismo de Cuenca I Península de Baja California. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del decreto de veda tipo III *“Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en el estado de Baja California”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 15 de mayo de 1965. De acuerdo con él, sólo se permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca Baja California instalado el 7 de diciembre de 1999. No existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) y se localiza dentro de la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre “Valle de los Cirios”, con fecha de Decreto 2 de junio de 1980.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios geohidrológicos y de calidad del agua. A continuación se mencionan los resultados y conclusiones más relevantes.

En 1972, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, a través de la Residencia General en el Estado de Baja California, realizó una SÍNTESIS DE LA INSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL VALLE DE CALAMAJUÉ (EJIDO HERMENEGILDO GALEANA), MUNICIPIO DE ENSENADA, B.C.

El ejido Hermenegildo Galeana, cuenta con una superficie total de 131.324 ha, de terrenos áridos que los interesados pretenden explotar con fines turísticos y pesqueros.

Fisiográficamente el valle de Calamajué pertenece a la Vertiente del Golfo de California, y aun cuando la cuenca de captación de las aguas superficiales es bastante amplia, debido a la escasez de las lluvias (menos de 100 mm, anuales), dicho arroyo escurre muy esporádicamente y su cauce apenas y es reconocido. Lo anterior hace que la vegetación sea sumamente raquítica, limitándose a algunos mezquites, cactus y matorrales bajos.

En 1979, el Distrito de Riego No. 14, a través del Departamento de Desarrollo, realizó un estudio de calidad de agua en el ejido H. Galeana, perteneciente al acuífero Calamajué. Se estimaron parámetros como: CE= 2 425 micromhos/cm a 25° C, pH = 7.5; además de Aniones, Cationes, Sólidos Totales Disueltos , Ras, Carbonato de Sodio Residual (Na_2CO_3), por lo que finalmente resultó la siguiente clasificación para calidad de agua para riego, bajo criterio de Wilcox: C_4-S_3 .

A mediados de 1980, se realizó un estudio Geohidrológico de la Cuenca de Calamajué, con el propósito de determinar las características geohidrológicas generales que se tienen en la cuenca del Arroyo Calamajué, con lo que se permitió desarrollar un programa de perforación de pozos exploratorios y con ello la potencialidad acuífera de la zona. La zona posee diversas características fisiográficas ya que abarca desde las zonas montañosas de la porción central de la Península, hasta valles inmediatos a la costa, por lo que prácticamente se puede dividir en varias zonas con características muy definidas.

En términos generales constituye una estructura de más de 70 km de longitud y 20 km de ancho, con orientación Norte-Sur, limitada al Este por las altas estructuras de la Sierra de la Asamblea, al Oeste y Suroeste por las Sierras de Colombia y San Francisquito, al Sur por una planicie que forma el Valle de Santa Ana y al Norte por el Golfo de California. Prevalciendo en la porción Norte alturas de entre 100 y 300 msnm, y en porción sur entre 400 y 600 m, llegando a existir estructuras de más de 1000 m de altura sobre el nivel del mar.

El drenaje de la zona es complejo y se encuentra representado por una heterogeneidad de tipos, entre los que se encuentran los dendríticos, paralelos centrífugo y en lengüeta, resultado de la diversidad de rocas y fenómenos que sobre ellos han actuado, la longitud del arroyo es de 70 km aproximadamente y drena una cuenca de 550 km².

Los fenómenos de plegamiento, fracturamiento y fallamiento son notables y si duda alguna han contribuido a la formación del valle, sin llegar a precisar si se encuentran asociados a procesos orogénicos de gran magnitud o a procesos de tipo local, se observa en ellos un patrón de deformación de gran magnitud, con dirección NE-SW y trenes de fallas de gran longitud con orientación Norte-Sur.

En la porción Sur y Suroeste de la zona prevalecen las rocas intrusivas y metamórficas, sobre las cuales se han depositado los materiales sedimentarios de tipo clástico (brechas con matriz arcillosa).

Sobre estos materiales los escurrimientos superficiales han labrado su curso, hasta llegar a formar un cañón de paredes prácticamente verticales, constituido por esquistos de origen sedimentario, de colocación gris verdosa a verde, los cuales se encuentran afectados por rocas intrusivas; a la salida del cañón se forma un amplio valle producto parcial del tectonismo y la erosión producida por las corrientes al atravesar las rocas clásticas (Brechas) que constituyen al piso del valle, las cuales tienen un buzamiento de dirección Oeste-Este, el cual provocó que el Arroyo solo erosionara sobre un flanco derecho, dejando en la margen izquierda una estructura colgada, a la cual desde el punto de vista geohidrológico podemos considerarla aislada del resto del valle, en el cual se tiene la presencia de depósitos de Piamonte y Abanicos aluviales, dentro del mismo, y por efecto de la erosión han quedado al descubierto algunas prominencias de tipo calcáreo, basáltico y esquistoso.

Comisión Nacional del Agua. Organismo de Cuenca Península de Baja California (2008). ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN 20 ACUÍFEROS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.

El objetivo principal de este estudio fue plantear el balance preliminar de aguas subterráneas para determinar la disponibilidad, mediante la realización actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría y nivelación de brocales. 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 área se encuentra comprendida en la Provincia Península de Baja California, subprovincia Sierras de Baja California Norte, INEGI 1981.

El espinazo de esta provincia lo integra la cordillera peninsular que recorre los dos estados peninsulares, el de Baja California y el de Baja California Sur, cuyo núcleo de granito masivo aflora en el norte y queda sepultado hacia el sur, bajo materiales volcánicos. El conjunto integra a las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir en el estado norte. La provincia tiene un origen singular ya que se considera que se encontraba pegada originalmente al resto del continente, del que se fue separando por fuerzas tectónicas, formándose así el Golfo de California. La península se sigue alejando hacia el noroeste a razón de 2 a 3 cm por año, aproximadamente. Tres discontinuidades fisiográficas se presentan en la provincia. La primera es el Desierto de San Sebastián Vizcaíno, cuyos amplios llanos médanos quedan interrumpidos en el occidente por la sierra volcánica del mismo nombre. La segunda formada por los Llanos de Magdalena, aluviales, con bajos que suelen inundarse en épocas de lluvias debido a las crecidas de los arroyos que bajan de la sierra. Su costa está delimitada por lagunas y dunas de arena. La región del Cabo, en el extremo al sur es la tercera, con sierra de rocas de diversos tipos, cuyos espinazos corren de norte a sur en lugar de noroeste a sureste como la Cordillera Peninsular.

La zona posee diversas características fisiográficas ya que abarca desde las zonas montañosas de la porción central de la Península, hasta valles inmediatos a la costa, por lo que prácticamente se puede dividir en varias zonas con características muy definidas.

En términos generales constituye una estructura de más de 70 km de longitud y 20 km de ancho, con orientación Norte-Sur, limitada al Este por las altas estructuras de la Sierra de la Asamblea, al Oeste y Suroeste por las Sierras de Colombia y San Francisquito, al Sur por una planicie que forma el Valle de Santa Ana y al Norte por el Golfo de California. Además de la Sierra de Calamajué que como estribación de la Sierra de San Francisquito penetra desde el Noroeste a la zona y extendiéndose en dirección Sureste y Sur divide prácticamente la zona en dos partes de aproximadamente la misma magnitud pero de características muy diferentes, ya que a partir de esta Sierra, la porción Norte suaviza su topografía en su flanco derecho, teniéndose la presencia de mesetas en su flanco izquierdo, mientras que la porción sur predomina la topografía irregular, con grandes desniveles debido a la existencia de mesetas y cañones o barrancos.

Prevaleciendo en la porción Norte alturas de entre 100 y 300 msnm, y en porción sur entre 400 y 600 m, llegando a existir estructuras de más de 1000 metros de altura sobre el nivel del mar. El drenaje en la zona se realiza a través del Arroyo Calamajué, que nace en las Cuencas de Chapala y San José, con las cuales colinda, sus tributarios son pequeños arroyos que nacen en las Sierras, y aunque muy numerosos, son de escasa longitud.

El drenaje de la zona es complejo y se encuentra representado por una heterogeneidad de tipos, entre los que se encuentran los dendríticos, paralelo centrífugo y en lengüeta, resultado de la diversidad de rocas y fenómenos que sobre ellos han actuado, la longitud del arroyo es de 70 km aproximadamente y drena una cuenca de 550 km².

3.2 Clima

El área del acuífero presenta diversos tipos de climas muy secos, ya que el régimen de lluvias no está repartido equitativamente en tiempo y espacio, por lo que resultan pocas precipitaciones en verano y el resto del año, por el contrario los porcentajes de lluvia invernal son ligeramente mayores al 18% hasta un 36%. De acuerdo al sistema de clasificación climatológica de Köppen, modificado por E. García (1964) para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana, se tiene que el área presenta a nivel regional, las variantes se describen a continuación:

BWh(x´): Muy árido, semiárido, temperatura media anual entre 18 y 22° C, temperatura del mes más frío menor a 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22° C; lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

BWhs: Muy árido, semiárido, temperatura media anual entre 18 y 22° C temperatura del mes más frío menor a 18° C, temperatura del mes más caliente mayor de 22° C; lluvias de invierno y precipitación invernal mayor al 36% del total anual.

BW(h´)(x´): Muy árido, cálido, temperatura media anual mayor de 22° C, temperatura del mes más frío mayor de 18° C; lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

BWks: Muy árido, temperatura media anual entre 12° C y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3° C y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C; lluvias de invierno y porcentaje de lluvia invernal mayor al 36% del total anual.

Por otro lado, el Valle de Calamajué, de acuerdo con información histórica obtenida de la estación 005 Chapala, presenta mucha variación, ya que para el periodo de observación de 2000-2006, se registró la mayor precipitación total anual la cual fue de 116 mm lo que conlleva a una precipitación extraordinaria o una avenida máxima, por lo que los efectos de dicha precipitación propiciaron una erosión de los materiales más jóvenes de la geología local, aunado con un intemperismo y meteorización producto de múltiples factores como el estado del tiempo extremo, el viento, la radiación, etc. Para el año 1983, los datos registrados fueron de 0 mm. Así mismo, las precipitaciones medias mensuales históricas más altas se registraron en el mes de diciembre con 26.0 mm, por tanto el mes que registra la menor precipitación fue junio-agosto con 0 mm.

La estación meteorológica en sus años de observación de los fenómenos meteorológicos, de 1953-2007, reporta una temperatura media anual de 18.1 °C, se reporta también al mes de Diciembre como el mes histórico más frío con -10° C en 1953 ya que las heladas comienzan desde Septiembre hasta junio sin embargo, estas se agudizan aún más en los meses de noviembre a marzo, el mes más caluroso ocurrió en el mes de junio de 2006 con 49.0° C. La precipitación media anual, dentro de los límites del acuífero es de 55.8 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero Calamajué se localiza en la Región Hidrológica No. 5, denominada Baja California Centro-Este. Así mismo dentro la cuenca del Arroyo Calamajué. Esta región engloba una superficie de 12 700.55 km².

La cuenca del Arroyo Calamajué y otros, corresponde en su totalidad al estado de Baja California, posee una superficie de 4 602.21 km²; su pendiente general es media, su forma es alargada y se encuentra limitada en la porción Norte y Este con el Golfo de California, al Sur y Oeste con la Cuenca del Arroyo Santa Catarina-Arroyo Rosarito de la Región Hidrológica 2 (B.C Centro-Oeste), al Sureste con el Arroyo Santa Isabel de la Región Hidrológica 5 (B.C. Centro-Este), al Noroeste con la Cuenca del Arroyo Agua Dulce-Santa Clara de la Región Hidrológica 4 (B.C. Noreste). El área de influencia del acuífero es de 1 074.83 km², el cual está formado por las sub-cuencas Calamajué una superficie de 960.19 km² así como una parte de la subcuenca El Mezquite.

La corriente principal es el Arroyo Calamajué, que nace en la sierra la Asamblea a 1 300 msnm; en los primeros 12 km, la corriente presenta dirección ligeramente al noreste; durante su recorrido cruza el valle de Calamajué, en donde recibe a varios afluentes de poca importancia por la margen derecha, conforma un recorrido de 63 km, hasta desembocar en la Bahía de Calamajué. Posee una pendiente media del 0.02%.

Además del arroyo Calamajué, existen cauces de menor importancia dentro de la cuenca que en forma más o menos directa drenan hacia la vertiente oriental de la península. En esta cuenca no existen estaciones hidrométricas, y el uso primordial del agua es pecuario. Para esta cuenca se ha establecido un coeficiente de escurrimiento de 5.11% y un volumen medio drenado de 12.239 millones de m³.

3.4 Geomorfología

La morfología del relieve es característica de las Cuencas de la vertiente del Golfo de California. La región fue afectada por procesos tectónicos, magmáticos y metamórficos que dieron lugar a la formación de la Cuenca, delimitada por rocas ígneas plutónicas, extrusivas y metamórficas que han sido fuertemente afectadas por los procesos tectónicos relacionados a la ruptura continental.

Algunas de estas rocas forman parte de los bordes de la cuenca que presentan una morfología abrupta, con una altura máxima de 800 msnm formando zonas escarpadas hacia el valle que cuenta con una altura promedio de 100 msnm.

El valle está compuesto por depósitos aluviales de edad reciente, producto de la erosión de las rocas circundantes.

4. GEOLOGÍA

La zona se encuentra en la Provincia Geológica de Baja California, la cual presenta características estratigráficas y estructurales complejas y muy particulares.

En la porción Sur y Suroeste de la zona prevalecen las rocas intrusivas y metamórficas, sobre las cuales se han depositado los materiales sedimentarios de tipo clástico (brechas con matriz arcillosa).

Sobre estos materiales los escurrimientos superficiales han labrado su curso, hasta llegar a formar un cañón de paredes prácticamente verticales, constituido por esquistos de origen sedimentario, de coloración gris verdosa a verde, los cuales se encuentran afectados por rocas intrusivas; a la salida del cañón se forma un amplio valle producto parcial del tectonismo y la erosión producida por las corrientes al atravesar las rocas clásticas (Brechas) que constituyen al piso del valle, las cuales tienen un buzamiento de dirección Oeste-Este, el cual provocó que el Arroyo solo erosionara sobre un flanco derecho, dejando en la margen izquierda una estructura colgada, a la cual desde el punto de vista geohidrológico podemos considerarla aislada del resto del valle, en el cual se tiene la presencia de depósitos de Piamonte y Abanicos aluviales, dentro del mismo, y por efecto de la erosión han quedado al descubierto algunas prominencias de tipo calcáreo, basáltico y esquistoso (figura 2).

4.1 Estratigrafía

En el área se conjugan una serie de características geológicas en las que se tiene presencia de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, predominando estas últimas.

Aluvión: Lo constituyen las rocas sedimentarias de tipo clásico, formadas por arenas, gravas y boleas, de tipo polimíctico (cuarzo, feldespatos, ferromagnesianos) las cuales se encuentran cubriendo una gran parte del área.

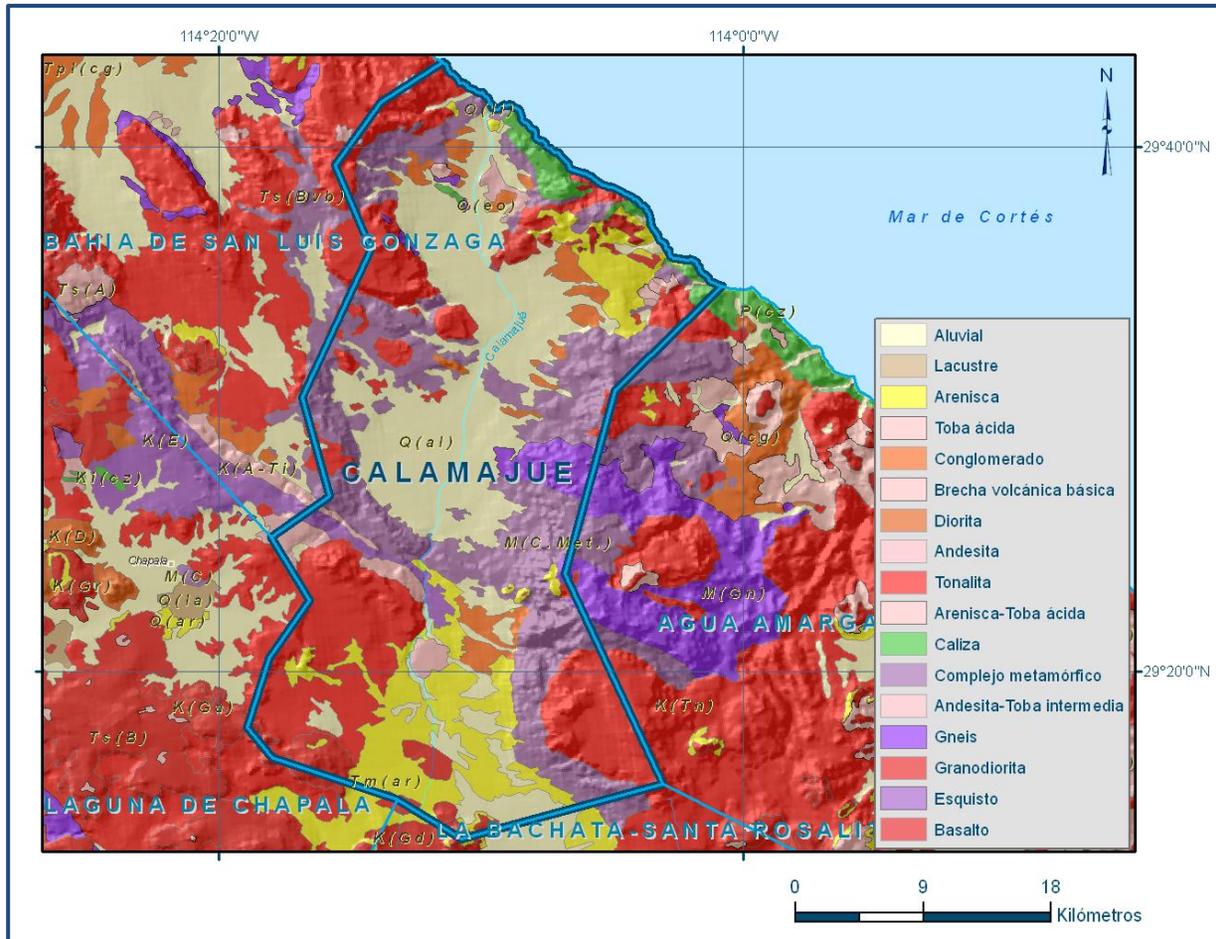


Figura 2. Geología general del acuífero

Eólico: Depósito de arenas finas de composición diversa, acumuladas sin llegar a formar médanos, se encuentran cercanas a la costa o a pie de algunas prominencias.

Conglomerados: En el área la presencia de conglomerados es originada por los abanicos que se tienen en la zona, se encuentran bordeando el valle, sobre todo en la porción Este del mismo, son de constitución diversa y se encuentran pobremente cementados.

Brechas: Constituidas por fragmentos angulares de origen ígneo y metamórfico, incluidos en una matriz arcillosa, se desconoce su espesor total pero afloran principalmente en la porción Oeste del valle, donde muestran una sección de más de 25 m de espesor, se encuentran subyaciendo a los materiales aluviales.

Areniscas: Se tienen en el área areniscas y conglomerados y areniscas tobáceas, las cuales afloran en una pequeña proporción al Norte de la zona, cercanos a la costa, la Dirección de Estudios del Territorio Nacional les asigna edad Paleógeno-Neógena.

Calizas: Existen pequeños afloramientos de rocas calcáreas las cuales se presentan en forma de capas gruesas y coloración gris, tienen una orientación general NW-SE y echados de 60° en dirección NE. Se les asigna edad Cretácica.

Rocas ígneas Extrusivas: Aunque no en forma notable, se tienen la presencia de rocas tipo basáltico y andesítico, los cuales originan conos volcánicos, estructuras masivas y horizontes de piroclásticos, afloran en la porción nor-occidental del valle, siendo de edad Paleógeno-Neógeno.

Rocas ígneas Intrusivas: Un gran porcentaje de las rocas Intrusivas que afloran en el área son de composición ácida, (Tonalitas-Granitos) y afloran indistintamente por toda el área, se encuentran en gran parte cubiertas por rocas sedimentarias. Se les ubica dentro del Cretácico Medio.

Gabro: Un pequeño afloramiento de rocas de composición básica, se tienen en el área noroeste del valle.

Las rocas metamórficas son muy abundantes en el área, se encuentran formadas por diversos tipos de esquistos y gneis, lo mismo presentan características de metamorfismo cinético, resultado de la acción magmática que provocó los fenómenos de inyección y metasomatismo.

4.2 Geología estructural

Los fenómenos de plegamiento, fracturamiento y fallamiento son notables y si duda alguna han contribuido a la formación del valle, sin llegar a precisar si se encuentran asociados a procesos orogénicos de gran magnitud o a procesos de tipo local, se observa en ellos un patrón de deformación de gran magnitud, con dirección NE-SW y trenes de fallas de gran longitud con orientación Norte-Sur. Estos sistemas de fallas actuaron dando origen a la formación de pequeñas fosas y pilares tectónicos que corren de forma paralela a los principales trenes de fallas.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo a los valores de resistividad, el material del subsuelo se divide en cuatro grupos, el primero con una resistividad menor a los 2 ohm/m, con una clasificación de permeabilidad muy baja, el material presenta grano fino con contenido de agua caliente y salobre. El segundo grupo presenta una resistividad entre 2 y 20 ohm/m, con una permeabilidad baja y las características del material es de grano fino. En el tercer grupo la resistividad es entre 20 y 50 ohm/m, con una clasificación de permeabilidad media y material con características de grano medio. El último grupo presenta resistividades mayores a 50 ohm/m, con una permeabilidad alta y material de grano medio a grueso o roca compacta.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero está compuesto por unidades de roca de tipo impermeables como lo son las rocas ígneas y metamórficas aunque debido a los procesos tectónicos y de meteorización estas se encuentran falladas, fracturadas, erosionadas y deformadas a través de la historia, lo que produce un aumento en su grado de permeabilidad.

Las unidades de roca anteriormente descritas conforman a la cuenca, la cual se encuentra rellena por grandes volúmenes de material aluvial de edad Cuaternaria, producto de una importante etapa de erosión, este material presenta un alto grado de almacenamiento y aunque el material es fino no existe ninguna capa superficial que sea impermeable dando origen a un acuífero de tipo libre.

5.2 Parámetros hidráulicos

Un estudio Geohidrológico realizado en 1980, reporta la existencia de dos perforaciones, de la cual se extraía agua para los habitantes del Ejido Hermenegildo Galeana, de tal manera que se realizaron pruebas de bombeo, de donde se estimaron algunos parámetros como la profundidad al nivel estático, la profundidad al nivel dinámico, el gasto, profundidad total del pozo, etc.

Con ayuda de los datos obtenidos de estos estudios se pudieron determinar los parámetros hidráulicos así como con ayuda de la geología y estratigrafía presente en el área. Los parámetros hidráulicos de acuerdo a las características litológicas se muestran en la tabla 2.

Los valores para la transmisividad se obtuvieron de:

K = Coeficiente de permeabilidad (m/s)

$T = K \cdot b$

b = Espesor promedio en pozos (m)

$b = 96$ m

Tabla 2. Parámetros hidráulicos

MATERIAL	K (m/s)	b (m)	T (m ² /s)
Material granular	2.03×10^{-4}	100	2.03×10^{-2}

5.3 Piezometría

Durante la etapa de actualización del censo de aprovechamientos en, 1980, se llevó a cabo un primer Estudio Geohidrológico de la cuenca de Calamajué, en el área cercana a la costa existen dos perforaciones realizadas por la extinta SARH, en donde se midieron algunos parámetros como la profundidad total del pozo, la profundidad al nivel estático, la profundidad al nivel dinámico, el gasto, etc. Además se tiene la presencia de excavaciones de poca profundidad, sin ademar y de las cuales se extraía el agua para uso del Ejido Hermenegildo Galeana.

Durante el estudio realizado en 2008 se realizó un recorrido piezométrico en el acuífero, para realizar e interpretar las configuraciones.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

Debido a la geología estructural y geomorfología que comprende el acuífero Calamajué no existen obras para explotación de agua profunda, solo existen manifestaciones de esta en manantiales a través de fallamiento y fracturamiento característico de la zona; por lo que el comportamiento del agua se observa localmente y de manera superficial.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La configuración para el análisis en cuanto a la elevación del nivel estático (figura 3), indica los lugares en los que se manifiestan los manantiales, tomando en cuenta su elevación al terreno natural y en base a la curva de nivel donde se localiza. Por lo que no se observa una descarga hacia el mar simplemente el fenómeno se desarrolla superficialmente habiendo así evaporación del agua.

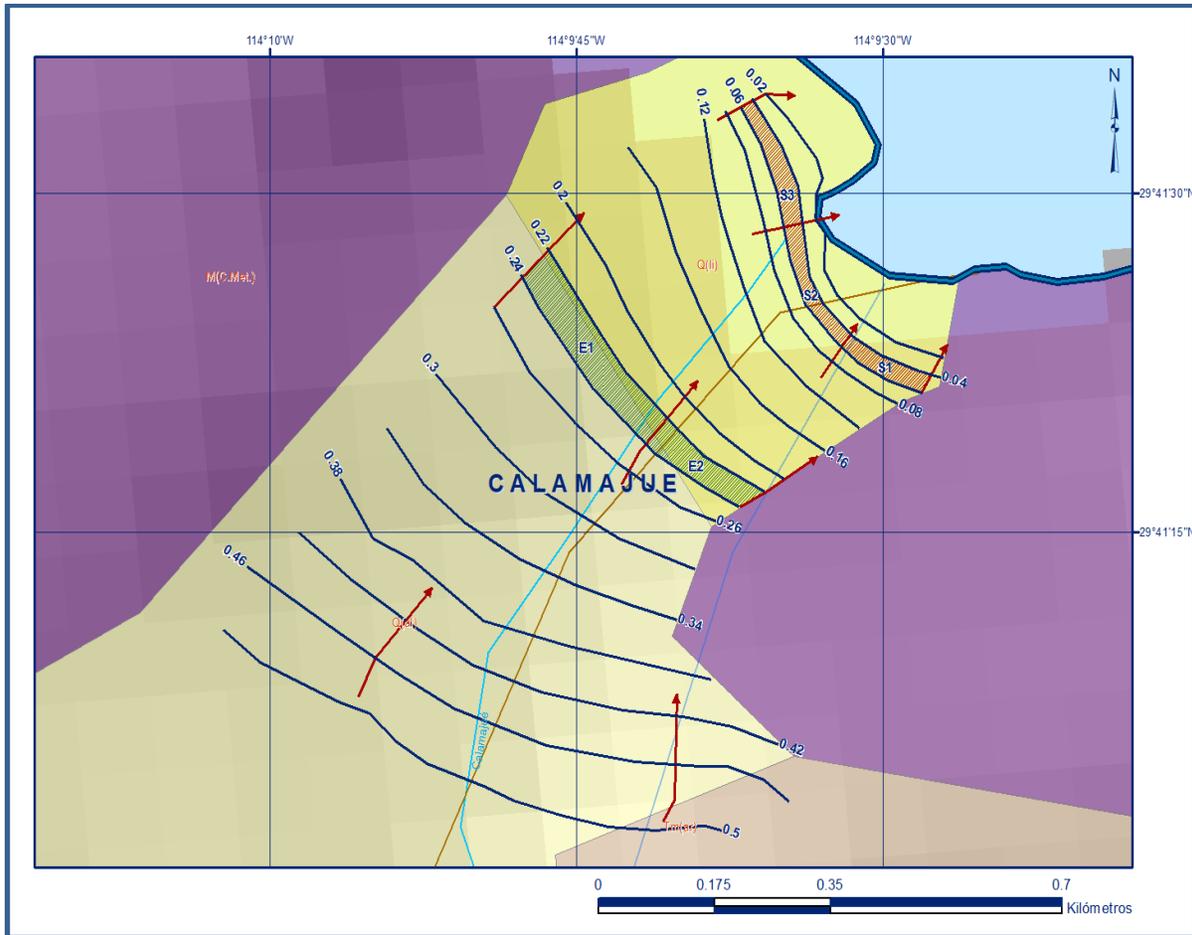


Figura 3. Elevación del nivel estático en msnm (2008)

5.4.3 Evolución del nivel estático

En cuanto a la evolución debido a que para el acuífero es el único año con el que se cuenta con información no se determinó evolución del nivel del agua subterránea, cabe mencionar que muy probablemente debido a las escasas precipitaciones en esta zona en cierto modo las manifestaciones de los manantiales se han reducido.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Para 1979, se realizó un análisis químico de aguas subterráneas, realizado en el Pozo BC-94, localizado en el Ejido Hermenegildo Galeana, Municipio de Baja California.

Los análisis físico-químicos de las muestras se les determinaron las concentraciones de los cationes principales (Mg, Na, K), aniones (HCO_3 , CL, SO_4) y sólidos disueltos totales (tabla 3).

Tabla 3. Resultados del Análisis Químico de calidad del agua subterránea

Conductividad Eléctrica	2 425	(Micromhos/cm)
pH	7.5	
Calcio (Ca ⁺⁺)	40	ppm
Magnesio (Mg ⁺⁺)	62	ppm
Sodio (Na ⁺)	400	ppm
Carbonato (CO ⁻³)	0	ppm
Bicarbonato (HCO ⁻³)	488	ppm
Cloruro (Cl ⁻)	497	ppm
Sulfato (SO ⁻⁴)	134	ppm
Boro (Br)	-	ppm
Sólidos Disueltos Totales	1 621	ppm
Dureza Total como CaCO ₃	360	ppm
Por Ciento de Sodio	70.7	
Proporción de Sodio Adsorbido (RAS)	9.2	
Carbonato de Sodio Residual (Na ₂ CO ₃)	0.8	me/l

La calidad del agua de uso agrícola, de acuerdo con la clasificación de Wilcox, resultaron ser sódicas en alta proporción no aptas para suelos orgánicos con buena permeabilidad, los inconvenientes que presentan son una alta y muy alta salinidad, los cuales pueden ser zanjados cultivando plantas muy tolerantes a la sal.

Los elementos de mayor concentración encontrados en el agua son cationes como el Sodio (Na⁺) y otros aniones como el Bicarbonato (HCO⁻³) y Cloruro (Cl⁻) las concentraciones van de 400 ppm a 497 ppm.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

No existe información en cuanto a volúmenes concesionados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea involucra el registro de las entradas, salidas y el cambio en el almacenamiento, modificaciones que suceden en un volumen específico del acuífero en un determinado tiempo.

Las componentes que se requieren conocer en el área de balance para la definición de este en forma global incluyen; cambios en el almacenamiento, evapotranspiración, bombeo, caudal base, entradas y salidas por flujo subterráneo, descarga por manantiales, entre otras.

La diferencia entre la suma total de las entradas, y la suma total de las salidas, representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo definido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa se expresa como:

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

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 de un acuífero:

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

En función de la disponibilidad de información confiable se estimó conveniente realizar un balance anual para el año 2008, siendo el año que debido al recorrido de campo realizado tiene mayor cobertura para cuantificar las componentes del balance para toda el área. Cada componente del balance se cuantificó para el año de análisis, a partir de los valores medios de los años seleccionados. La incógnita seleccionada fue la recarga vertical. El agua subterránea del sistema tiene un movimiento general con sentido Oeste-Este a través de fallas y fracturas, de esta manera se considera la presencia de salidas de agua por evaporación, y una salida mínima hacia el Golfo de California a través de fallamiento y fracturamiento. Por lo tanto, la ecuación de balance de agua subterránea para el acuífero Calamajué para el año 2008, se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eh} + \text{Rv} - (\text{B} + \text{Sh} + \text{ETR}) = \Delta \text{V} * \text{Sy}$$

Donde:

Eh = Entradas horizontales por flujo subterráneo

Rv = Recarga vertical

B = Bombeo

Sh = Salidas horizontales por flujo subterráneo

ETR = Evapotranspiración

Δ V = Volumen drenado

Sy = Rendimiento específico

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de las infiltraciones a lo largo del cauce. Este componente se seleccionó como incógnita en la ecuación de balance de agua subterránea.

$$Rv = (\Delta V * Sy) + (B + Sh + ETR) - Eh$$

7.1.2 Recarga inducida (Ri)

La recarga inducida se constituye principalmente por retorno de riego, infiltración de obras hidroagrícolas así como la infiltración de las redes de agua potable. En el área de balance, el volumen de agua subterránea explotado para uso agrícola no se encuentra presente. Por esta razón la recarga inducida al acuífero se considera despreciable. **Ri = 0.**

7.1.3 Entradas horizontales por flujo subterráneo (Eh)

La estimación de esta componente se realizó utilizando la configuración de la elevación del nivel estático para el 2008, en la cual se definieron las direcciones y celdas de flujo que junto con la transmisividad y gradiente hidráulico, definieron los caudales que circulan en el acuífero.

Con base en la configuración se seleccionaron las celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero Tabla 4. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas.

$$Q = B * i * T$$

Donde:

B = Ancho (m) del canal de flujo

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

T = Transmisividad en el canal de flujo.

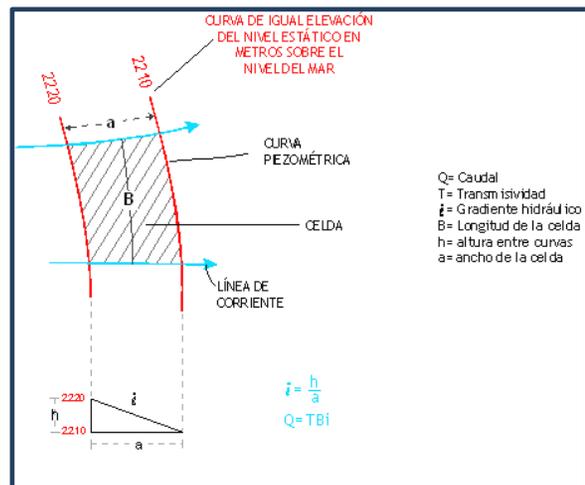


Tabla 4. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^{-3} m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES					
E ₁	4.630	0.260	0.00038	0.0005	0.014
E ₂	4.630	0.665	0.0036	0.0011	0.035

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el año 2008 para el área de explotación es de \approx **0.05 hm³**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

La evapotranspiración se representa por la descarga de un acuífero a la atmósfera y tiene lugar por evaporación directa del agua freática somera o bien por la transpiración de la flora, que en esta zona no es significativa por el tipo de vegetación que existe.

Debido a la baja precipitación que se presenta en el área, se invalidaron los métodos empíricos para el cálculo de la evapotranspiración (Turc y Smith), ya que éstos son aplicables en regiones con valores mayores a los 300 mm, considerando además, que el área aunque se tienen niveles someros este valor es casi **nulo**.

7.2.2 Bombeo (B)

De acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa), en el acuífero no existen obras por lo que no se tiene un volumen concesionado.

7.2.3 Salidas horizontales por flujo subterráneo (Sh)

Para calcular el volumen que se descarga naturalmente del área de balance por flujo subterráneo, se consideraron los parámetros hidráulicos del mismo y las configuraciones.

El acuífero Calamajué es un acuífero costero, por lo que existe una zona a partir de la cual, el espesor del acuífero va disminuyendo debido a la presencia de la zona de interfase agua marina-agua continental (tabla 5).

Tabla 5. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	B (10^3 m)	i	Q (m^3/s)	Vol. anual (hm^3)
SALIDAS LATERALES					
S ₁	3.646	0.425	0.0004	0.0006	0.020
S ₂	2.836	1.865	0.00016	0.0008	0.026
S ₃	2.025	2.080	0.00018	0.0008	0.024

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2008 para el área de explotación es de **0.07 hm³**.

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

No se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, es de esperar que no se registren alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento. Por lo anterior, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto para fines del balance de aguas subterráneas, **$\Delta V(S) = 0$** .

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia, mediante la expresión:

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

$$R_v = 0.07 + 0.0 + 0.0 \pm 0.0 - 0.05$$

$$R_v = 0.02 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical, y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 0.02 + 0.05$$

$$R = 0.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

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

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

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 **0.1 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. En este sentido la descarga natural comprometida se considera como un porcentaje de las salidas por flujo subterráneo horizontal el cual se estimó en un 20%, sin embargo el volumen es muy pequeño, por lo que para fines del balance se considera como **0.0 hm³ anuales**, el porcentaje se considera porque la zona no presenta un entorno ecológico el cual requiera de este recurso para sostenerse o bien mantenerse en

equilibrio, además de que el acuífero se encuentra afectado naturalmente por intrusión marina. **DNC = 0.0 hm³ anuales.**

8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (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 **0 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.1 - 0.0 - 0.000000 \\ \text{DMA} &= 0.100000 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **100,000 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. Organismo de Cuenca Península de Baja California. 2008. Estudio Técnico para determinar la Disponibilidad de las Aguas Subterráneas en 20 acuíferos del estado de Baja California, realizado por la compañía Sanx, Ingeniería Integral y Desarrollo.

INEGI. 1995. Estudio Hidrológico del Estado de Baja California. Gobierno del Estado de Baja California. Aguascalientes, Ags. México. 1^{er} impresión.

Servicio Geológico Mexicano, Carta Geológico Minera Estado de Baja California escala 1:500,000