



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO EL PROGRESO-EL BARRIL (0244),
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3	FISIOGRAFÍA.....	5
3.1	Provincia fisiográfica.....	5
3.2	Clima.....	5
3.3	Hidrografía.....	6
4	GEOLOGÍA.....	6
4.1	Estratigrafía.....	8
4.2	Geología estructural.....	11
4.3	Geología del subsuelo.....	12
5	HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1	Tipo de acuífero.....	12
5.2	Parámetros hidráulicos.....	12
5.3	Piezometría.....	13
5.4	Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	13
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	14
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	15
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	16
7.1	Entradas.....	17
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	17
7.1.2	Recarga inducida (Ri).....	17
7.1.3	Entradas horizontales por flujo subterráneo (Sh).....	17
7.2	Salidas.....	18
7.2.1	Evapotranspiración (ETR).....	18
7.2.2	Bombeo (B).....	19
7.2.3	Salidas horizontales por flujo subterráneo (Sh).....	19
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	20
8	DISPONIBILIDAD.....	20
8.1	Recarga total media anual (R).....	21
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	21
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	21
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	22
9	BIBLIOGRAFÍA.....	23

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 El Progreso-El Barril, definido con la clave 0244 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción sureste del estado de Baja California, dentro del vasto territorio del municipio de Ensenada; comprende un área aproximada de 1178 km². Queda limitado geográficamente por los paralelos 28° 00' y 28° 30' y por los meridianos 112° 47' y 113° 08' de longitud oeste (figura 1).

Colinda al norte y este por el Golfo de California, al oeste por los acuíferos San Rafael-La Palma y Llanos del Berrendo, del estado de Baja California y al sur con el acuífero Paralelo 28, del estado de Baja California Sur.

El acuífero está delimitado por la poligonal simplificada definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.



Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 0244 EL PROGRESO-EL BARRIL							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	45	51.5	28	0	0.0	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	112	57	48.2	27	59	59.8	
3	113	4	24.0	28	5	45.8	
4	113	1	40.3	28	9	44.6	
5	113	3	31.1	28	12	14.8	
6	113	1	56.3	28	14	21.4	
7	113	7	55.7	28	19	44.5	
8	113	5	22.1	28	25	20.3	
9	113	5	6.1	28	29	40.9	DEL 9 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	112	45	51.5	28	0	0.0	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero 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 el 15 de mayo de 1965, 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 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. Dentro de su territorio no existe distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido a la fecha en comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

La porción oeste del acuífero 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

Dentro del área del acuífero, únicamente se cuenta con el estudio realizado por la **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 acuífero se encuentra localizado dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra de Baja California, subprovincia Sierra Volcánica (Manuel Álvarez Jr.); localmente se caracteriza por exhibir un relieve abrupto conformado por sierras que corren en sentido Norte a Sur y Noroeste a Sureste, con elevaciones que llegan a los 1,700 m, regionalmente dominan las formas de amplias mesetas constituidas por derrames basálticos, por tobas y brechas riolíticas.

Dentro de las principales elevaciones se encuentra la sierra El Alambrado, ubicada en la porción centro oriental, con una orientación de noroeste a sureste, limitada al poniente por el valle de La Bocana, constituida por derrames basálticos en una zona de fuerte fracturamiento; a su vez se encuentra cortada por una serie de arroyos, mostrando cuerpos de conglomerados Paleógenos-Neógenos en su extremo sureste, depósitos aluviales no consolidados en su periferia y dunas en su extremo noroeste.

El valle de El Barril se encuentra limitado al norte y poniente por cerros que se desprenden de las sierras Los Paredones, El Alambrado, desarrollándose desde cerca de la línea de costa hacia al sur y las Sierras Santa Agueda y Sierra El Escondido, con una longitud aproximada de 19 km y ancho máximo de 8 km, cubierta en su mayor parte de material aluvial. Al sureste y oeste están limitadas por rocas riolíticas fracturadas con permeabilidad secundaria. En la porción costera el flujo subsuperficial descarga sus excedentes hacia el mar (Golfo de California).

3.2 Clima

Con base en la clasificación de climas elaborado por W. Köppen, modificado por E. García para las condiciones de la República Mexicana, regionalmente predomina el de tipo seco o desértico con oscilaciones térmicas sensibles que alcanzan un régimen extremoso; con algunas zonas calurosas durante el día y noches que van de frías a muy frías.

El área en particular, muestra algunas variaciones debido al contraste del relieve topográfico que conforman sus diversas altitudes, y que atiende a las serranías y planicies aluviales que las caracterizan, siendo su temperatura media anual de 19° C; registrando en los meses más calurosos comprendidos generalmente de marzo a octubre temperaturas que van de 46 a 49° C con máxima absoluta hasta 52° C; en los meses más fríos (noviembre-febrero) las temperaturas varían de 2.5 y -5° C, con una mínima absoluta de hasta -7° C.

La precipitación promedio anual para esta zona es de 76 mm/año, presentando un valor mínimo de 31 mm, registrado en la estación San Regis, y un valor máximo extraordinario de 372.1 mm. La lámina de evaporación media oscila entre 1,640 y 2,794 mm. La información anterior fue recabada de las estaciones climatológicas Bahía de los Ángeles, El Barril Santa Gertrudis y San Regis.

El análisis estadístico de la temperatura media anual es de 17.1° C, con una máxima de 20.9° C y una mínima de 6.3° C. Se reporta una lámina de evaporación anual promedio de 1,830.4 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 5 (Baja California Centro Este), limitada al Norte por el arroyo San Pedro y al Sur por el arroyo San Francisquito y en la porción central se ubica el arroyo La Palma y La Pala, mientras que al sur del Poblado el Progreso se observan los arroyos Las Cuevitas y Santa Bárbara que desembocan al Golfo de California, captando en época de lluvias las aguas de diferentes arroyos que descienden de las mesas Amador, Los Corrales y Mesa Prieta, que sirven de parteaguas entre Villa de Jesús María y El Progreso, como de la sierra El Alambrado que lo separa del Valle La Bocana.

El colector superficial principal lo constituye el propio arroyo Purificación que se une a los arroyos Las Cuevitas y El Infiernito cuyo cauce presenta características de permeabilidad favorables que permiten la infiltración de los escurrimientos superficiales.

4 GEOLOGÍA

Las unidades de roca que afloran en el área varían en edad del Mesozoico Inferior al Reciente. La base de la secuencia Mesozoica está representada por una unidad

metasedimentaria de probable edad Triásica o Jurásica Tardía; sobre ésta se encuentra discordantemente la Formación Alisitos constituida por miembros volcánicos y vulcano-sedimentarios de edad Cretácico Inferior. El Cretácico Medio está representado por una serie de intrusiones batolíticas de diversas composiciones, predominando la tonalita y granodiorita (figura 2).

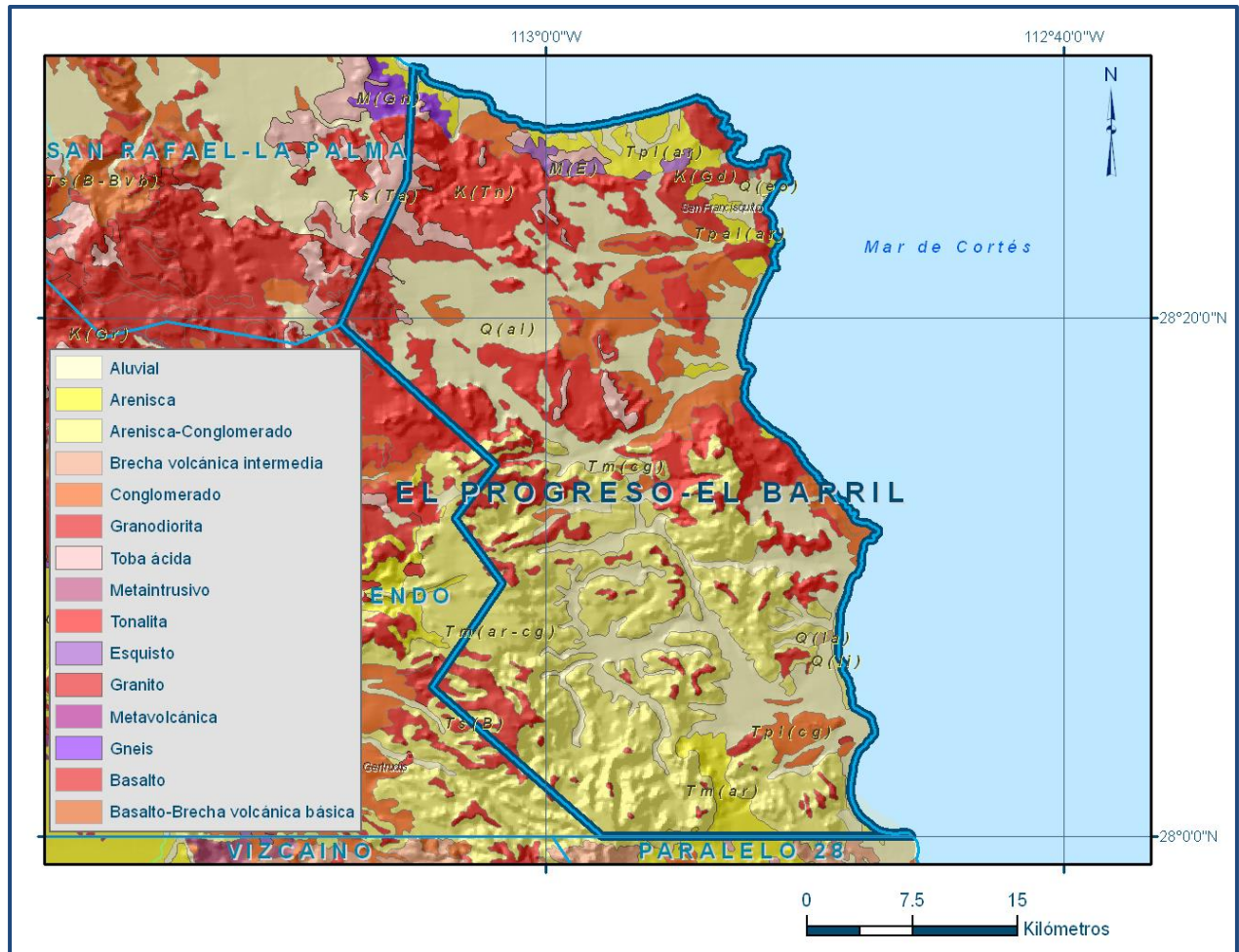


Figura 2. Mapa Geológico

Sobreyace a las secuencias anteriores en discordancia litológica y angular, depósitos de rocas marinas y continentales que varían en edad del Paleoceno al Mioceno, con la notoria ausencia de estratos pertenecientes al Oligoceno. Los depósitos reflejan la gran inestabilidad de la península durante esta época y la tendencia hacia el Mioceno a la consolidación de la masa continental.

El Mioceno está representado por una secuencia volcánica en la que predominan las ignimbritas y los derrames ácidos con muy escasas andesitas. El Plioceno está formado por derrames basálticos emplazados por fisura, así como la formación de conos aislados; este evento volcánico continuó hasta inicios del Cuaternario. Durante el Plioceno se formaron también grandes abanicos aluviales que coronan la secuencia geológica del área. En los abanicos aluviales la erosión labró el paisaje de terrazas tan prominente en el área. Durante el Pleistoceno y el Reciente ha predominado la formación de suelos y la destrucción y modelado de las diversas unidades estratigráficas y morfotectónicas formadas con anterioridad.

4.1 Estratigrafía

Formación Esquisto Julián: la localidad tipo se encuentra en el poblado Julián, Condado de San Diego California en Estados Unidos. Consiste de lutitas, areniscas y conglomerados metamorfoseados, con pequeños cuerpos de anfibolita y mármol, interdigitados con esquistos, filitas, pizarras y gneis. En la secuencia predominan los colores oscuros, pero los gneis presentan colores claros. El grado de metamorfismo es muy variable. Los esquistos son micáceos, con abundante clorita de facies esquisto verde; en algunas áreas como la del Arroyo Corral Blanco, se presentan talcosos.

La unidad presenta su foliación orientada de noroeste a sureste y sólo en pequeñas porciones cambia esa orientación (Punta San Francisquito) a este-oeste. Debido a su comportamiento estructural tan complejo, es difícil estimar su espesor. Esta unidad aflora ampliamente en la porción central del área, desde el camino Punta Prieta-Bahía de Los Ángeles al norte, hasta el Rancho Santa Cruz al sur, y de Rosarito, al occidente, hasta el Rancho San Regis al Oriente.

Se encuentra cubierta discordantemente por todas las rocas más recientes, volcánicas y sedimentarias. Su relación con las rocas batolíticas cretácicas es de intrusión o de falla. El contacto inferior no aflora.

Mesozoico Plutónico-Metamórfico (Mp). Consiste de rocas metamórficas e intrusivas de probable edad Cretácica, con metamorfismo incipiente y zonas de intrusión con bandeamiento gnéisico en los bordes de las masas intrusivas.

Esta unidad consiste de rocas metamórficas derivadas de diorita, granodiorita y tonalita, en las que se reconoce la mineralogía típica de las rocas intrusivas originales;

en algunas zonas presenta arreglo gnéisico, en otras zonas se observan minerales metamórficos de contacto, así como abundante epidota y ocasionalmente clorita.

Aflora en la faja central del área al borde de las rocas plutónicas. Las rocas están cubiertas discordantemente por rocas sedimentarias y volcánicas más recientes.

Mesozoico Volcánico – Sedimentario (Kas, Kav)

Formación Alisitos (Kas): en esta área la secuencia consta de cuatro miembros, de abajo hacia arriba:

Tobas en capas delgadas con sills de diorita.

Calizas y areniscas

Rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición intermedia.

El miembro superior consiste de calizas biógenas que hacia la cima se interdigitan con rocas volcánicas intermedias.

Consiste en rocas calcáreas y derrames de composición dacítica-riolítica que se encuentran interestratificadas. Las calizas se presentan en estratos masivos a delgados, de color gris oscuro a claro, con lentes de limolita calcárea y poco contenido de arcillas. La caliza está silicificada y algo metamorfoseada. Su fracturamiento es intenso y en algunas áreas tiene aspecto lajoso. La unidad calcárea está interestratificada también con tobas líticas de composición ácida. En las áreas cercanas al cuerpo intrusivo presenta aureola de metamorfismo.

En los alrededores del Arroyo Santo Domingo y hacia el norte y sur del área, se encuentra una secuencia metasedimentaria formada por pizarras, esquisto, meta arenisca, meta conglomerado, calizas y escaso mármol, afectadas por diques andesíticos o fuertemente plegada. Estas unidades han sido correlacionadas con la Formación Alisitos (Gastil, 1975), pero teniendo en cuenta sus características litológicas y estructurales, podrían ser más antiguas.

Formación San Ignacio (TmB): esta formación presenta un cambio lateral de facies con las formaciones Comondú y San Ignacio del Mioceno Medio (J. T. Smith, 1991), constituida por areniscas e intercalaciones mínimas de limolitas y lutitas, los afloramientos se distribuyen en la Mesa El Copalar y en forma esporádica en la porción central de la Península. Contemporáneo a la unidad anterior y a la parte superior de la

Formación San Isidro ocurre el depósito de la Formación Comondú de edad Mioceno (Mc Lean et al., op. cit.), compuesta hacia la base por areniscas volcanoclásticas y conglomerados correspondientes a la parte distal de un abanico continental y para la zona proximal la litología consiste de brechas andesíticas, tobas dacíticas, así como escasos derrames, andesíticos y dacíticos. Esta secuencia es cubierta en parte por derrames de basalto fisural que constituyen la mayor parte de las mesetas.

Paleoceno (Ticg, Tiar-Im)

Formación Tepetate (Tiar-Im): Litológicamente, la unidad marina consiste en una intercalación de areniscas amarillentas a café rojizas, con areniscas conglomeráticas, lodolitas y fangolitas con lentes concrecionales. La arenisca se presenta en estratos por lo general delgados a medianos de no más de 40 cm; presenta ligera inclinación hacia el mar, está constituida de grano fino con buena clasificación y algunas capas tienen residuos de halita (cloruro de sodio). Presenta un sistema de fracturas de espaciamiento moderado, con relleno de yeso, así como estratos muy fosilíferos con abundantes turrítelas y foraminíferos.

Formación El Indio (TRiMS): La conforma una secuencia metasedimentaria que sobreyace discordantemente a la Formación Zamora y El Volcán, y está constituida por esquistos, filitas, metaconglomerados, calizas, areniscas, pizarras y mármol que afloran al norte de la mesa El Mármol, en el límite nor-noreste del acuífero.

NEÓGENO VOLCÁNICO (Tsa, Tei, Tsb)

Formación Pelones, Minitas, Pilares, Hornillas y Ricason (Tsa): Grupo Comondú, definido por Heim en 1922, así como basaltos que coronan la secuencia volcánica de edad pliocénica sin nombre formacional. Los derrames miocénicos de basalto corresponden a la Formación Pilares. El Grupo Comondú, tiene su localidad tipo cerca del poblado de San José de Comondú e incluye a rocas volcánicas y detríticas derivadas de ellas, grandes cuerpos porfídicos, lavas riolíticas, andesíticas y basálticas asociadas con tobas y aglomerados de composición similar.

Consiste en gran proporción de tobas y brechas riolíticas, con abundante pumicita y cristales rotos de cuarzo. Las tobas son típicas de tonos rosáceos y en algunos lugares presenta estructura columnar. Hacia el oeste, la secuencia continúa predominantemente pumicita, pero se encuentran intercalaciones de tobas arenosas de composición algo más intermedia, coronadas por derrames dacíticos o riodacíticos

que ocupan la parte superior de la secuencia. Los derrames riolíticos son más escasos y en varias secciones no aparecen en lo absoluto. El espesor de la unidad es muy variable, hacia la zona central y occidental del área, su espesor promedio es de 100 a 150 m, en la porción oriental, se incrementa considerablemente hasta aproximadamente 600 m.

Depósitos recientes no Consolidados

(si)- Esta unidad incluye a los depósitos aluviales y de pie de monte del área. Está constituida por arenas limpias de grano medio a grueso y por gravas bien graduadas. Los clásticos se han derivado de rocas ígneas y metamórficas y de fragmentos minerales de cuarzo lechoso, feldespato y micas. Forma planicies aluviales y el relleno de los valles fluviales. Su espesor máximo ocurre en el Valle de Las Flores, al sur del poblado Bahía de Los Ángeles.

(la)- La unidad de depósitos lacustres tiene pocos afloramientos y están restringidos a las partes bajas. Está compuesta por estratos delgados y laminares de arenas finas intercalados con algunos horizontes de arcillas.

(B)- Unidad constituida por basaltos de olivino que forman aparatos volcánicos y derrames de lava de estructura acordonada. Estos basaltos presentan un fracturamiento moderado.

4.2 Geología estructural

Las estructuras que afectan las unidades litológicas aguas arriba son principalmente: fracturamiento, fallamiento y plegamiento en rocas sedimentarias. Las fallas son principalmente de tipo normal, cuya representación fisiográfica es la Sierra de San Borja.

Con base en la relación que muestran las rocas afectadas por las estructuras, se concluye que éstas son de edad premiocénica, con sentidos de movimiento horizontal izquierdo para el primer sistema de esfuerzos y de tipo vertical normal, para el sistema postmiocénico. La geología estructural de la zona está representada por una serie de fallas y fracturas. Estos rasgos estructurales están ligados a la actividad tectónica y volcánica. Dentro de las estructuras se encuentran la zona de Falla Ballenas, Partida y San Lorenzo, estructuras compuestas por una serie de fallas normales, donde además se presenta una falla transformante activa, que corta a todas las anteriores. En este caso

la falla más importante presenta una orientación NW-SE y está presente en la Formación Comondú, formando un escarpe muy característico de la expresión morfológica de la vertiente del Golfo de California. Estas fallas de acuerdo a los levantamientos que se presentan en el Golfo de California se consideran de carácter compresivo.

4.3 Geología del subsuelo

El conocimiento del basamento en el subsuelo no ha sido explorado mediante estudios de prospección geofísica que permitan determinar la forma y profundidad del acuífero. De acuerdo al recorrido de campo, se puede inferir que el acuífero principal está alojado en depósitos granulares de origen aluvial, que constituyen el relleno del valle, cuyo espesor total se desconoce. Las fronteras y barreras al flujo están representadas por los horizontes menos permeables de las Unidades **Tsa y Tsb** constituidas por las andesitas y brechas volcánicas de composición intermedia que no presentan fracturamiento, así como las rocas sedimentarias de grano fino que constituyen a la misma formación. Al igual que otras regiones de la zona, la Formación Comondú cuando presenta permeabilidad secundaria constituye una unidad acuífera de buena capacidad transmisora y de almacenamiento.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre y está constituido por sedimentos no consolidados muy heterogéneos del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario, con espesores de 80 a 100 m, estos espesores se infirieron tomando en cuenta las características de los acuíferos colindantes limitado vertical y horizontalmente por rocas metamórficas e ígneas impermeables, que constituyen el basamento.

La recarga ocurre a través de la infiltración de la lluvia y de los arroyos intermitentes de la zona.

5.2 Parámetros hidráulicos

Debido a que en el acuífero no se han ejecutado pruebas para determinar sus propiedades hidráulicas, no se conocen los valores de los parámetros hidrodinámicos. Sin embargo por correlación hidrogeológica, se considera que son similares a las de los acuíferos vecinos, dentro del estado de Baja California, ya que presentan características geológicas e hidrogeológicas similares.

Por ello, los valores que se asocian a la transmisividad varían entre 2.65 a $79.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, obtenidos mediante la interpretación de pruebas de bombeo. En ninguna de ellas se contó con pozos de observación, por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Durante diciembre del 2008 se realizó un recorrido piezométrico en el acuífero, principalmente a lo largo del arroyo para realizar e interpretar las configuraciones. Para las configuraciones de niveles estáticos se cuenta con poco apoyo piezométrico debido a que existen muy pocos aprovechamientos, algunos de los cuales no pudieron sondearse. A pesar de ello con la información verbal de los propietarios y con criterio hidrogeológico, asumiendo que el acuífero se encuentra en condiciones iniciales y en condición de subexplotación, las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático son muy semejantes a la configuración topográfica del terreno.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático (diciembre del 2008) en el pozo es de 0.2 cm. El aprovechamiento es una noria que intercepta el flujo subálveo. Los valores más someros se localizan hacia la zona que limita con la salida del flujo subterráneo que alimenta la laguna que se forma al final del arroyo (figura 3).

5.4.2 Elevación del nivel estático

Los niveles de brocal se tomaron a partir de las cartas topográficas escala 1:50,000 del INEGI. De esta forma se procedió a calcular la elevación del nivel estático en la zona comprendida entre el aprovechamiento ubicado en la ranchería y la zona donde de forma natural se descarga el agua subterránea. La figura 4 muestra las cotas de elevación de las cargas hidráulicas así como las líneas de flujo que se conceptualizan para el acuífero. Tomando en cuenta este esquema se procedió a calcular los valores de entradas y salidas subterráneas del acuífero considerando que toda el agua que entra al acuífero se descarga manera natural, debido a que el sistema se encuentra en una condición de equilibrio, donde no existe espacio para almacenar el agua subterránea.

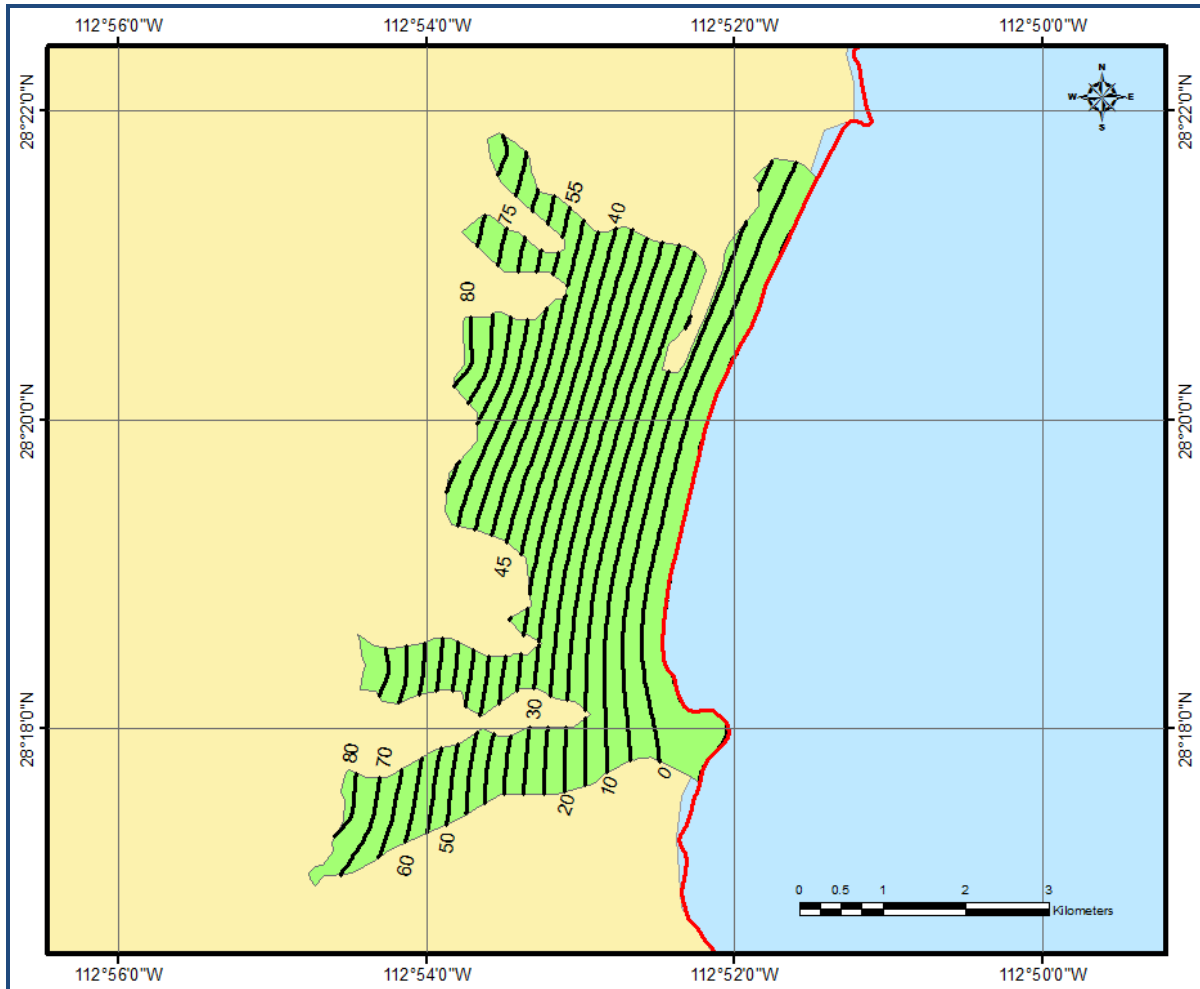


Figura 3. Profundidad al nivel estático (m), 2008

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica que permita elaborar una configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas no son suficientes y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Adicionalmente, aunque la configuración de la elevación del nivel estático está inferida, la incipiente extracción que se realiza no ha causado aún la alteración de las condiciones del estado inicial del régimen de flujo subterráneo. El volumen de extracción es muy inferior al valor más conservador de la recarga que pudiera estimarse. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

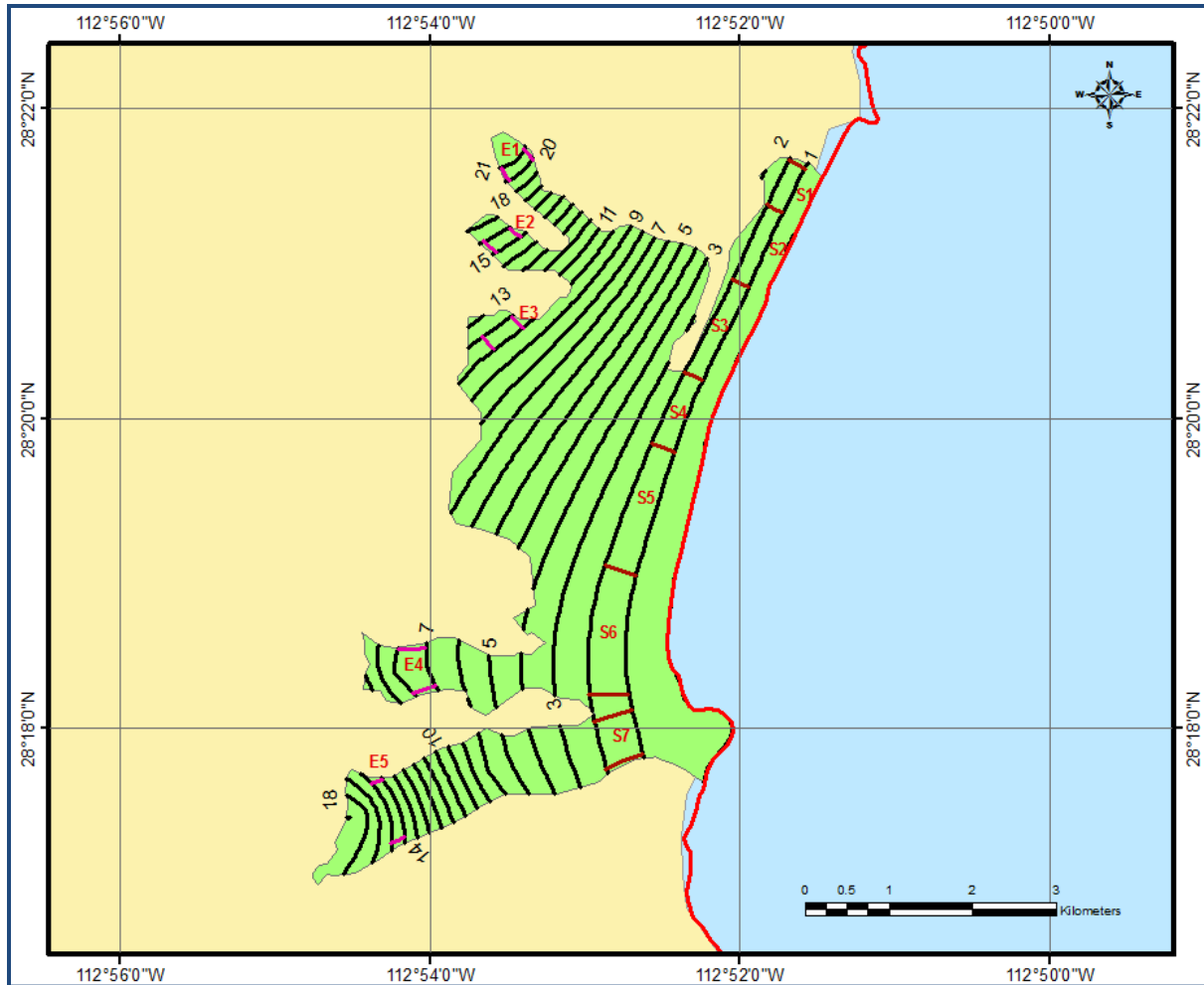


Figura 4. Elevación del nivel estático (msnm), 2008

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No se cuenta con información hidrogeoquímica reciente; sin embargo, en el 2008 se realizó una visita de reconocimiento en donde se midieron los parámetros físico-químicos en el único aprovechamiento establecido en la zona y en el área de descarga, la conductividad eléctrica resulto de 6.9, lo que indica que al agua es salobre con un pH de 7.3 unidades.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el área no existe un censo previo que reporte la cantidad de aprovechamientos ni el volumen concesionado para el acuífero, sin embargo, el REPDA manifiesta la existencia de 1 aprovechamiento, tomando en cuenta los datos respecto al volumen concesionado dentro del acuífero se obtuvo que el 71% del volumen es para uso pecuario y el 29% para uso doméstico, siendo este el de mayor consumo, y dando

como resultado una extracción total de 2,382 m³ de agua, con fecha de corte al 31 de marzo de 2009.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea involucra el registro de las entradas, salidas y el cambio de almacenamiento en un volumen específico del acuífero en un tiempo determinado. 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 la masa es la siguiente:

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

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

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

La ecuación de balance para el año 2008 en el acuífero, es la siguiente:

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

Donde:

Eh = Entradas horizontales por flujo subterráneo

Rv = Recarga vertical

Ri = Recarga inducida

B = Bombeo

Sh = Salidas horizontales por flujo subterráneo

ETR = Evapotranspiración

$\Delta\text{V(S)}$ = Cambio de almacenamiento

Con base en la red de flujo para el año 2008, y de acuerdo a la topografía y al material sedimentario, así como los espesores de éste, se cuantificaron las componentes para el área de balance con una superficie aproximada de 20.03 km².

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical para el acuífero está integrada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle, y por la infiltración a partir del escurrimiento superficial a lo largo del cauce. La recarga vertical se seleccionó como incógnita en la ecuación de balance de agua subterránea. Por lo tanto su estimación se efectuó a partir de la ecuación de balance de la siguiente manera.

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

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 debido a los volúmenes insipientes que se presentan en el área. Por esta razón la recarga inducida al acuífero se considera despreciable **Ri = 0**.

7.1.3 Entradas horizontales por flujo subterráneo (Sh)

La estimación de esta componente se realizó utilizando la configuración de la elevación del nivel estático del año 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 canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” que recarga al acuífero como entrada subterránea. La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos (tabla 2).

$$\mathbf{Q = B * i * T}$$

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.

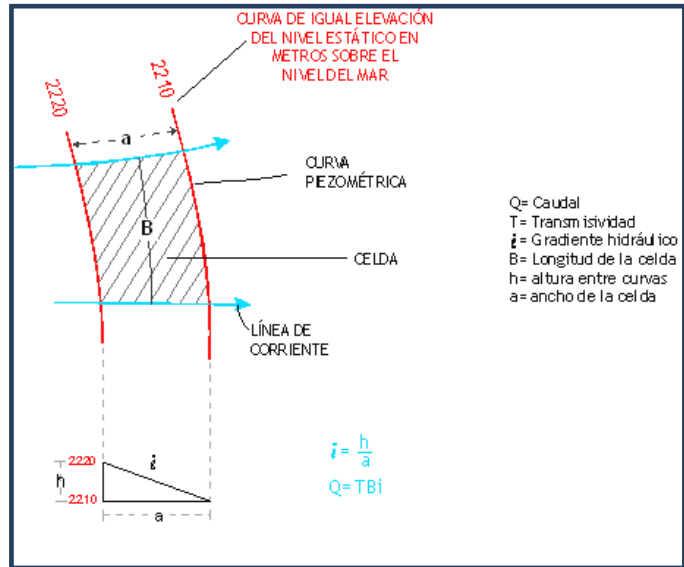


Tabla 2. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo.

Celda	T (k*b) (10 ⁻³ m ² /s)	B (10 ⁻³ m)	i	Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
ENTRADAS LATERALES					
E ₁	4.630	0.350	0.00552	0.0089	0.282
E ₂	4.630	0.310	0.00563	0.0081	0.255
E ₃	4.630	0.405	0.00511	0.0096	0.302
E ₄	4.630	0.545	0.00334	0.0084	0.266
E ₅	4.630	0.775	0.00659	0.0237	0.746
					1.851

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el año 2008, es de **1.9 hm³/año**.

7.2 Salidas

Las componentes del balance que representan las salidas del acuífero son las descargas por flujo subterráneo hacia el mar (Sh), la evapotranspiración (ETR) y el bombeo de los aprovechamientos de agua subterránea (B).

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 en la que se tienen niveles freáticos someros y donde se puede llevar a cabo este fenómeno es muy pequeña, aproximadamente 2.7 km². Por lo tanto el valor de evapotranspiración tiende a ser muy bajo o casi nulo.

7.2.2 Bombeo (B)

Esta componente se determinó de acuerdo al volumen reportado por el Registro Público de derechos de Agua (REPGA). Para el balance se determinó una extracción por bombeo de **0.002 hm³/año**.

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 de elevación del nivel estático; debe hacerse énfasis que el acuífero 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, esto provoca que se modifique el gradiente hidráulico y los valores de transmisividad.

Las salidas subterráneas se cuantificaron con el mismo procedimiento que las entradas por flujo subterráneo (tabla 3).

Tabla 3. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo

Celda	T (k*b) (10 ⁻³ m ² /s)	B (10 ⁻³ m)	i	Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
SALIDAS LATERALES					
S ₁	3.646	0.565	0.0045	0.0092	0.289
S ₂	2.836	1.475	0.00266	0.0111	0.350
S ₃	2.025	1.540	0.00320	0.0100	0.314
S ₄	2.604	0.940	0.00393	0.0096	0.303
S ₅	2.604	1.220	0.00491	0.0156	0.492
S ₆	2.431	0.960	0.00515	0.0120	0.379
S ₇	2.431	0.575	0.00501	0.0070	0.221
					2.349

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2008, es de **2.4 hm³/año**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)

El cambio de almacenamiento se estima a partir de las evoluciones de los niveles estáticos como un mínimo se deben considerar dos periodos en este caso debido a que se carece de información en cuanto a datos piezométricos se considera un valor de **cero** para esta componente.

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:

$$R_v = (\Delta V * S_y) + (B + Sh + ETR) - E_h$$

$$R_v = 0.0 + (0.002 + 2.4 + 0.0) - 1.9$$

$$R_v = 2.35 - 1.9$$

$$R_v = 0.5 \text{ hm}^3/\text{anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas. Redondeando el valor a un decimal, obtenemos:

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 0.5 + 1.9$$

$$R = 2.4 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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:

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

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 **2.4 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.

La descarga natural comprometida se consideró como un 20% de las salidas por flujo subterráneo horizontal que se estima necesario para mantener la posición de la interfase marina. Por lo tanto la descarga natural comprometida es de **DNC = 0.5 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 **44,947 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 **20 de febrero del 2020**.

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 2.4 - 0.5 - 0.044947 \\ \text{DMA} &= 1.855053 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **1,855,053 m³** anuales disponibles para otorgar nuevas concesiones.

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. 2005. "Estudio para Actualizar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales Superficiales en las 85 (ochenta y cinco) Sub-regiones Hidrológicas de las 7(siete) Regiones Hidrológicas 1,2,3,4,5,6 y 7 de la Península de Baja California, Mediante la Aplicación de la NOM-011-CONAGUA-2000" Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California.

Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Península de Baja California. 2007. Estudio Técnico para Determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Subterráneas de los acuíferos El Rosario, Villa de Jesús María, Bahía de Los Ángeles, La Rumorosa-Tecate y San Rafael-La Palma, estado de Baja California", elaborado por la empresa Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

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.

GEOFIMEX, S.A. 1973. Las posibilidades hidrológicas del subsuelo en el Valle de Jesús María municipio de Ensenada, Baja California.