



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO
LA BACHATA-SANTA ROSALITA (0234), 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	6
3.1	Provincia Fisiográfica	6
3.2	Clima	6
3.3	Hidrografía	7
3.4	Geomorfología	8
4	GEOLOGÍA	8
4.1	Estratigrafía	8
4.2	Geología estructural	10
4.3	Geología del subsuelo	10
5	HIDROGEOLOGÍA	11
5.1	Tipo de acuífero	11
5.2	Parámetros hidráulicos	11
5.3	Piezometría	12
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	14
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	15
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
7.1	Entradas	16
7.1.1	Recarga vertical	16
7.1.2	Recarga inducida	16
7.1.3	Entradas por flujo subterráneo horizontal	16
7.2	Salidas	17
7.2.1	Evapotranspiración	17
7.2.2	Bombeo	19
7.2.3	Salidas por flujo subterráneo horizontal	19
7.3	Cambio de almacenamiento	19
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	8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)	22
9	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	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 La Bachata-Santa Rosalita, definido con la clave 0234 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción Sur-Occidental del Estado de Baja California, entre los paralelos 28° 38' y 29° 17' de Latitud Norte y entre los meridianos 113° 45" y 114° 22' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, tiene una superficie aproximada de 2432 km². Figura 1.

Colinda al Norte con el acuífero Calamajué, al Sur con Nuevo Rosarito, al Este con Agua Amarga, al Oeste con el acuífero Laguna de Chapala; y al Sureste con el Océano Pacífico, todos los acuíferos pertenecen al estado de Baja California.

Geopolíticamente se encuentra ubicado en el municipio de Ensenada. La poligonal simplificada que delimita el acuífero, se encuentra 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 0234 LA BACHATA-SANTA ROSALITA							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	114	13	37.8	28	55	21.1	
2	114	19	6.7	29	3	20.8	
3	114	13	11.4	29	15	6.9	
4	114	10	44.4	29	13	36.1	
5	114	3	4.4	29	15	4.14	
6	113	57	8.3	29	12	40.7	
7	113	57	6.0	29	6	39.7	
8	113	51	27.5	29	2	58.0	
9	113	45	23.8	28	52	58.8	
10	113	53	14.6	28	50	53.9	
11	113	53	11	28	49	27.1	
12	113	57	45.5	28	42	56.7	
13	114	4	21.6	28	41	16.7	
14	114	9	37.1	28	38	16	DEL 14 AL 15 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
15	114	21	49.3	28	48	7.1	
16	114	18	48.1	28	50	6.1	
1	114	13	37.8	28	55	21.1	

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. 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 2015, 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).

El 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

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.

A principios de 1973, el Distrito de Riego del Rio Colorado a través del Departamento de Riego y Drenaje, hicieron un ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, EN EL EJIDO AGUAJE BENITO JUÁREZ, perteneciente al acuífero La Bachata-Santa Rosalita.

Entre los parámetros que se determinaron fueron: aniones, cationes, sólidos disueltos totales, CE, que resultó de 690 en Micromhos/cm a 25° C, pH 7.8; por lo que de acuerdo con la clasificación de la calidad del agua de riego Wilcox: resultó ser C₂S₁.

En esos mismos meses de 1973, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, Residencia en Ensenada B.C., realizaron otro ESTUDIO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS por medio de un Diagrama de Schoeller, en donde se determinó la calidad de esta; los parámetros estimados fueron: Carbonatos, Sólidos Disueltos, Relación de Adsorción de Sodio, Dureza Total, entre los más importantes.

A finales de 1973, la Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas, Residencia en Ensenada B.C, realizó un ESTUDIO TÉCNICO DE PERFORACIÓN DE POZOS EN EL ACUÍFERO LA BACHATA-SANTA ROSALITA.

Específicamente en el pozo PBCELB-1, se hicieron pruebas de bombeo, donde se conocieron algunos datos como: el gasto del pozo $Q=0.7$ lps, $Q/\Delta s= 0.0145$ lps/m, la profundidad al nivel estático fue de 9.63 m, la profundidad del nivel dinámico fue de 57.89 m. Ahora bien, también se realizaron estudios de calidad del agua de riego, en la CE oscilaba en 4 micromhos/cm, el pH en 7.25 ligeramente neutro, además de aniones, cationes, sólidos disueltos totales 2500 ppm, Ras, Carbonato de Sodio Residual; por lo que finalmente la clasificación del agua de riego resulto ser C₄-S₃. Así mismo, el corte litológico mostro información acerca de los materiales existentes en el área; en donde en los primeros 4 m son arenas gruesas a medias de color café, en las profundidades subsiguientes se encuentran gravas gruesas, gravillas gruesas empacadas en matrices arcilloso-arenoso.

En 1976, se realizó un DICTAMEN GEOHIDROLÓGICO, EN EL EJIDO COOPERATIVA PESQUERA “RAFAEL ORTEGA CRUZ”, dentro del acuífero La Bachata-Santa Rosalita; donde se determinaron el origen del uso del agua en el aspecto doméstico, determinándose que era por medio de pipas desde Rosarito, a una distancia de 32 km; por otro lado, también existen norias con nivel estáticos someros.

También se realizaron, estudios de calidad del agua de riego, en donde se determinaron, CE, ph, Aniones, Cationes, Sólidos Disueltos Totales, Ras, etc., por lo que de acuerdo con la clasificación Wilcox para agua de riego, se tiene como resultado aguas del tipo C₄-S₃ y C₄-S₂.

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

En el estado de Baja California, es posible definir dos provincias fisiográficas (según el marco fisiográfico de la DDG, 1981). La más extensa e importante es la Provincia Península de Baja California, en tanto la Provincia Sonorense solo está representada en el extremo noreste de la entidad. La Provincia Península de Baja California, define aproximadamente el 95% de los rangos fisiográficos del estado. Las elevaciones topográficas incluyen el nivel del mar hasta aquellas con más de 1000 y 3000 msnm que de hecho constituyen las formaciones serranas.

El área se encuentra ubicada en la Provincia Fisiográfica Sierras de Baja de California. Esta provincia fisiográfica se caracteriza por la presencia de grandes extensiones que se hallan dispuestas en mesetas y terrazas encontrándose cortadas por pequeños arroyos, los cuales bajan de la sierra. Las terrazas y las mesetas son formadoras de niveles dependiendo de los tipos de roca que las constituyen. Geográficamente se encuentra limitada al Oeste por el Océano Pacífico; al Este por el complejo volcánico de la Sierra de San Pedro Mártir; al Sureste por la Sub-provincia volcánica y al Suroeste por la Provincia de la Llanura Costera de Baja California.

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 que a continuación se describen:

BWh(x'): Muy árido a semiárido, con temperatura media anual entre 18 y 22° C, donde la temperatura del mes más frío es menor a 18° C y temperatura del mes más caliente mayor de 22° C; el porcentaje de lluvia invernal es ligeramente mayor al 18% del total anual.

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

BWk(x'): Muy árido a templado, y la temperatura media anual varía entre 12 y 18° C, la temperatura del mes más frío oscila entre -3 y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22° C; el régimen de lluvias está repartidas en todo el año y precipitación invernal mayor de 18 % del total anual.

Por otro lado, el Valle de Santa Rosalita, de acuerdo con información histórica obtenida de la estación 034 San Borjas, presenta mucha variación, ya que para el periodo de observación de 1979-1986, se registró la mayor precipitación total anual la cual fue de 347 mm lo que conllevó 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 1987, los datos registrados fueron de 0 mm. Así mismo, las precipitaciones medias mensuales históricas más altas se registraron en el mes de diciembre con 25.4 mm, por tanto, el mes que registra la menor fue Junio con 1.2 mm.

La estación meteorológica en sus años de observación de los fenómenos meteorológicos, de 1955-2007, reporta una temperatura media anual de 19.9° C, se reporta también al mes de Enero como el mes histórico más frío con -9° C en 1956 ya que las heladas comienzan desde Noviembre a Febrero incrementándose en el mes Febrero sustancialmente, el mes más caluroso ocurrió en el mes de Julio de 1978 con 49.0° C. La precipitación media anual es de 78.842 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 2 Baja California Centro Oeste, específicamente, está conformado por las sub-cuencas Punta Prieta con una superficie de 2429.37 km², Dominguito con 370.65 km², El Marrón con 127.09 km², BCN-16 con 34.69 km² y Santa Rosalita con una superficie de 23.77 km².

La determinación de la precipitación media anual es de 78.842 mm, misma que escurre por una pendiente media. La corriente principal de la cuenca, es el arroyo La Bocana, que tienen su origen en el centro La Alguatosa a 1 349 msnm de este lugar hasta el poblado Santa Inés, presenta un rumbo al sureste, durante su trayectoria recibe varios afluentes como son, el Arroyo El Rosario y el Arroyo Santa Catarina, que nace

en la Sierra de San Pedro Mártir, teniendo como afluentes al Arroyo Grande, Arroyo el Paraíso, Arroyo Escondido, Rio San Juan y otros de menor importancia. La corriente pasa por el poblado del Rosario y desemboca en un lugar llamado La Bocana a 6 km al Este de dicho poblado.

El empleo primordial del agua superficial, es para el uso pecuario y doméstico. Considerando las características hidrológicas de la cuenca, se evaluó un coeficiente de escurrimiento de 4.44% de un volumen medio anual precipitado de 809.61 millones de m³, que relacionado con el coeficiente determina un volumen drenado de 36.018 millones de m³ anuales.

El rango de precipitación media anual varia de 0 a 125 mm para las zonas comprendidas de la costa del Pacífico hasta un tercio de la porción del acuífero, así mismo una pequeña parte en los límites de la Cuenca de Calamajué y de 125 a 400 mm para la parte central del mismo; el rango de precipitación total anual oscila entre los 50 y 100 mm en el lado de la costa del Pacífico y de 100 a 200 mm en el lado Este del área.

3.4 Geomorfología

La característica principal de la región es estar constituida por montañas de forma irregular, con una orientación general noroeste-sureste, y tiene a sus alrededores cuencas rellenas con materiales sedimentarios.

Los valles son relativamente planos que tienen como base gruesos depósitos de aluvión separados por montañas alineadas, compuestas por rocas sedimentarias y metamórficas de edad mesozoica y rocas volcánicas del Cenozoico.

4 GEOLOGÍA

Las principales rocas que afloran en la región son de tipo sedimentario, representadas predominantemente por depósitos aluviales del Cuaternario, cuyo espesor sea probablemente del orden de 100 m, así como sedimentos de origen fluvial (conglomerados) del Paleógeno, cuyo espesor se desconoce. Subyaciendo a los depósitos sedimentarios probablemente se encuentran rocas metamórficas (prebatolíticas) representadas principalmente por esquistos, o bien alguna apófisis de gabro que haya intrusionado a dichas rocas prebatolíticas. (Figura 2).

4.1 Estratigrafía

La zona está constituida geológicamente por rocas ígneas y sedimentarias que afloran a lo largo de su superficie. Debido a la depositación de sedimentos durante largos periodos geológicos, han tenido como resultado la formación de diferentes unidades geológicas constituidas principalmente por materiales provenientes de la zona montañosa. Aflorando en la región, encontramos a la Formación Rosario del

Cretácico Superior, Post-Batolítica que se hallan también a lo largo de la Costa del Pacífico: consiste en lentes gruesos de conglomerados, areniscas y lutitas, areniscas con capas delgadas de madera carbonizada y capas de arcilla color castaño oscuro, con un espesor de más de 750 m. En dicha formación los estratos rara vez están litificados. Las lutitas y areniscas aparecen en los flancos de los arroyos.

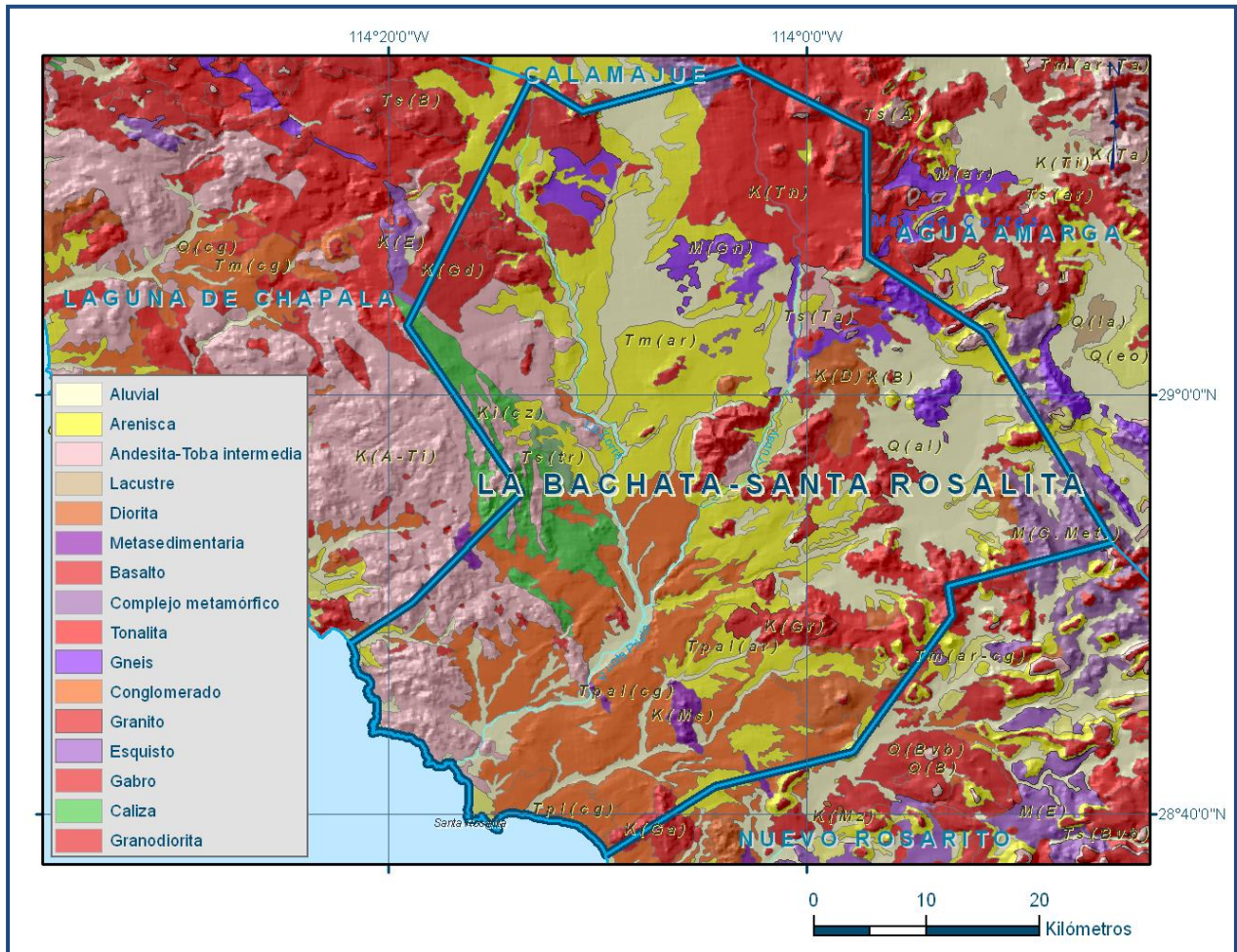


Figura 2. Geología general del acuífero

De acuerdo con Lozano, la Formación Rosario ha sido elevada al rango de Grupo por varios autores, en el cual los cuerpos descritos por Santillán y Barrera reciben los nombres de: Formación Bocana para el Inferior, Formación El Gallo para el intermedio y para el Superior Formación Rosario.

La Formación Rosario se divide en 4 miembros: Miembro Bocana Roja, constituida por conglomerados derivados de rocas volcánicas principalmente; Miembro Punta Baja, rocas sedimentarias marinas, Miembro El Gallo, con areniscas y conglomerados continentales y Miembro El Rosario, constituido por areniscas y lutitas depositadas en un ambiente marino. En cuanto a su edad, la Formación Rosario es

equivalente a la Formación Valle, de la porción Sur de la Península. Si bien esta última tiene un superior alcance estratigráfico.

En la porción Oriental se unen los arroyos Los Mártires y El Potrero se observan andesitas en poca proporción. En la parte Superior y localmente en la mayoría del área afloran conglomerados polimícticos con matriz arcillosa, bien cementados y compactados. Las formaciones recientes, del Cuaternario, están constituidas por acarreos de las corrientes actuales, ocupando la parte baja de sus valles, formando el relleno de sus cauces. Tienen una gran importancia pues constituyen las formaciones con porosidad y permeabilidad suficientes para construir acuíferos, así como proporcionar volúmenes considerados, susceptibles a ser aprovechados.

Dentro del acuífero afloran sedimentos marinos de edad Cuaternaria que se presentan formando pequeñas terrazas costeras.

4.2 Geología estructural

La región en la que se enmarca el área es afectada por procesos geológicos complejos íntimamente ligados a la apertura del Golfo de California a partir del Neógenos. Las principales estructuras que afectan a las unidades litológicas expuestas son: fracturamiento, fallamiento y plegamiento en rocas sedimentarias.

Las fallas son principalmente de tipo normal, habiendo algunas fallas de desplazamiento horizontal, cuya representación fisiográfica es de cañones como el del arroyo Las Amarillas. Con base a la relación que muestran las rocas que son afectadas, se considera que las estructuras con esta orientación son de edad premiocénica, con sentidos de movimiento horizontal (izquierdo) para el primer sistema de esfuerzos y de tipo vertical (normal), principalmente para el sistema postmiocénico; esta dirección es común regionalmente.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con las resistividades obtenidas y las características de los materiales del subsuelo se clasificaron en 3 unidades.

UNIDAD IMPERMEABLE: formada por rocas ígneas intrusivas y rocas volcánicas, que en conjunto actúan como el basamento de la zona.

UNIDAD SEMIPERMEABLE: está constituida por materiales de tipo granular muy compactos, e ígneos extrusivos. Su límite inferior y lateral es la unidad Impermeable, a esta unidad también se asocia otra con materiales granulares de grano fino, predominantemente arcillosos, el agua que presenta esta zona tiene alto grado de salinidad, por lo que la resistividad es baja.

UNIDAD PERMEABLE: está constituida por materiales granulares poco compactos de granulometría variada, predominantemente gruesos y saturados. Es una unidad continua en dirección este-oeste y su espesor va de 100 a 150 m. Dentro de esta unidad están localizadas la mayoría de las captaciones perforadas en el valle, también se le asocia una unidad constituida por sedimentos sueltos de granulometría variada, en ocasiones su base está saturada; es continua en todas direcciones, presenta un espesor máximo de 120 m.

Tabla 2. Clasificación de resistividades y características de los materiales del subsuelo

RESISTIVIDAD (OHM/M)	CARÁCTERÍSTICAS
MENOR A 5	MATERIAL GRANULAR, CONTAMINADO
ENTRE 4 Y 9	MATERIAL ARCILLO-ARENOSO, CONTAMINADO
ENTRE 15 Y 20	MATERIAL ARCILLOSO-ARENOSO
ENTRE 8 Y 12	MATERIAL ARCILLOSO IMPERMEABLE
ENTRE 13 Y 16	MATERIAL ARCILLOSO-ARENOSO
ENTRE 20 Y 45	MATERIAL GRAVAS-ARENAS
ENTRE 40 Y 90	MATERIAL ARENISCAS MEDIANAMENTE CEMENTADAS, CONGLOMERADOS CEMENTADOS
MAYOR DE 70	MATERIAL GRANULAR

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El acuífero es de tipo libre y está constituido principalmente por sedimentos no consolidados cuya granulometría varía de gravas, arenas y arcillas, que rellenan el cauce del arroyo y el valle, su espesor promedio varía de 16 a 64 m. Su principal fuente de recarga es el flujo subterráneo proveniente de los subálveos del arroyo.

5.2 Parámetros hidráulicos

El pozo con clave P.B.C.E.B.-1, se localiza en el km 511 de la carretera Transpeninsular No.1 Tijuana – La Paz, cerca de la comunidad Punta Prieta. Un resumen técnico de perforación de pozo realizado en 1973, reporta y describe el proceso de perforación, desde el desarrollo, aforo y prueba de bombeo del pozo.

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 3.

Tabla 3. Parámetros hidráulicos

MATERIAL	K(m/s)	b (m)	T (m ² /s)
Arenas de grano Fino a medio Arenas gruesas y gravillas.	$2.10 \cdot 10^{-7}$	69	$1.45 \cdot 10^{-5}$
Gravas, gravillas y arenas Arenas de grano medio	$2.42 \cdot 10^{-7}$	60	$1.45 \cdot 10^{-5}$
Arenas	$4.53 \cdot 10^{-7}$	32	$1.45 \cdot 10^{-5}$

5.3 Piezometría

En el área que cubre el acuífero no existe historial piezométrico. Sólo para el año 2008 se tiene el registro piezométrico en los aprovechamientos de agua subterránea localizados en las áreas susceptibles a su explotación; Figura 3. A partir de la medición de nivel estático en ellos, se realizó una extrapolación apoyada con la línea de costa y la elevación topográfica del terreno.

Es por ello que las líneas de isovalores de las configuraciones del nivel estático se presentan discontinuas, indicando un trazo inferido con base en los criterios mencionados.



Figura 3. Área de explotación

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad del nivel estático para el área de explotación 1 (zona de costa) que cuenta con información piezométrica las profundidades varían de 0 a 7 m, varía de 6 a 8 m en una franja de 2 km de ancho respecto de la línea de costa, para el área de explotación 2 localizada más al suroeste (SW) sus profundidades van de 0 a 10 m, mientras que para el área de explotación 3 localizada en la zona cercana a la carretera las profundidades van de 5.5 a 16.5 m. Figura 4.

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático para la zona costera es de 2.68 a 62 msnm aproximadamente a 7 km de la costa, a partir del cual los valores disminuyen gradualmente hacia la costa, hasta el nivel cero de referencia que representa el nivel medio del mar, para la zona centro del acuífero área de explotación 3 las elevaciones van de 108 a 183 disminuyendo de forma gradual y con una dirección del flujo subterráneo noreste-suroeste. Figura 5.

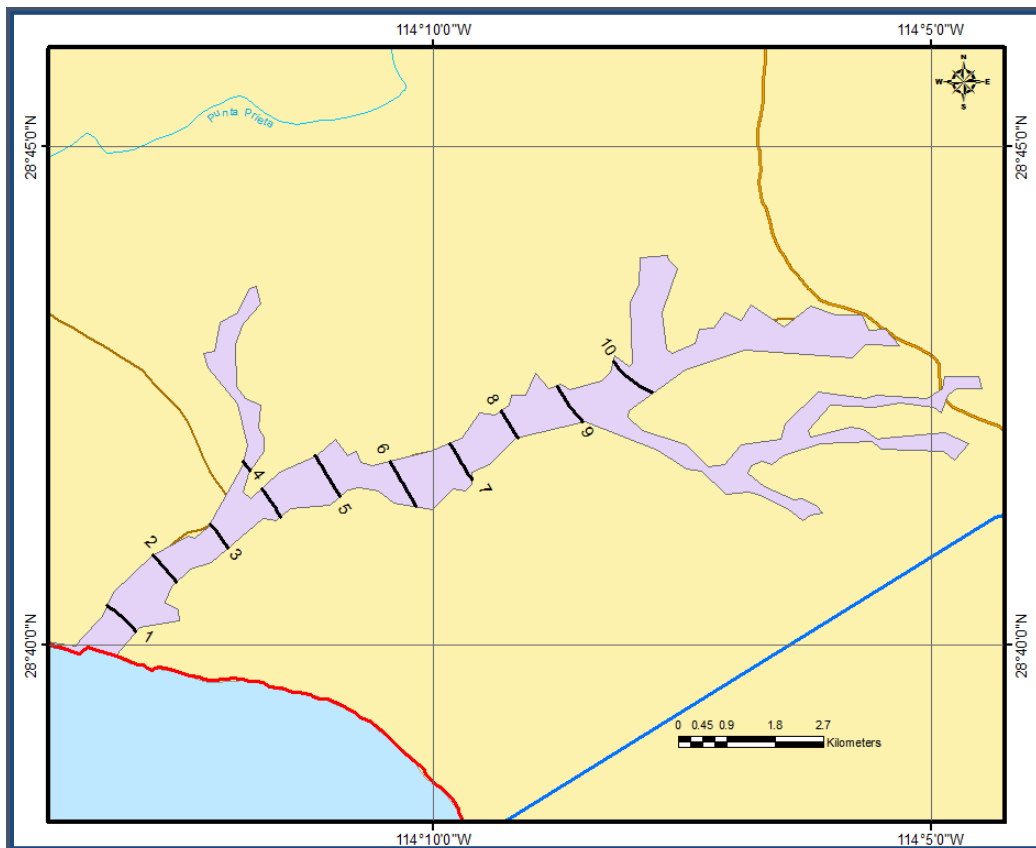


Figura 4. Profundidad al nivel estático en (m), 2008

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.

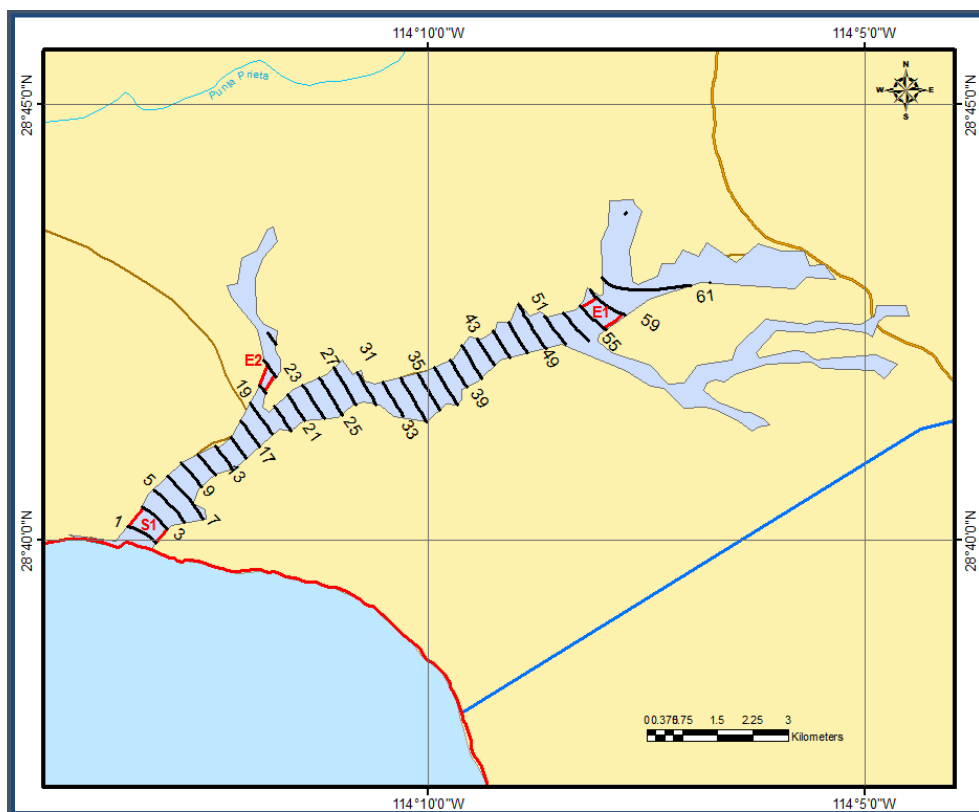


Figura 5. Elevación del nivel estático en (msnm), 2008

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

De acuerdo con los parámetros determinados en el recorrido de campo se estimó que la calidad química del agua varía de regular a buena. Los parámetros químicos de los aprovechamientos a cielo abierto demuestran que el agua subterránea contiene concentraciones sólidos totales disueltos mayores a los 1000 ppm que establece la norma oficial mexicana para el agua destinada al abastecimiento de agua potable (1236 y 1184 ppm). Los valores pueden estar relacionados con la presencia de carbonato de calcio existente alrededor de la zona.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Según el REPDA (Registro Público de Derechos de Agua), con fecha de corte al 31 de marzo de 2009, manifiesta la existencia de 16 aprovechamientos de agua subterránea, tomando en cuenta los datos respecto al volumen concesionado dentro del acuífero se obtuvo que el 11.10% del volumen es para uso Pecuario, 72.75 % uso Agrícola, 3.14 % uso doméstico y el 13.02 % para uso público-urbano, siendo el uso agrícola el de mayor consumo, y dando como resultado una extracción total de 156,168 m³ de agua.

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:

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

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 de un acuífero:

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

En función de la disponibilidad de información confiable se estimó conveniente realizar un balance anual para el año 2008, es el que presentan mayor cobertura en sus datos para cuantificar las componentes del balance para toda el área. Cada componente del balance se cuantificó para un año a partir de los valores medios del año seleccionado. La incógnita seleccionada fue la recarga natural.

Por lo tanto, la ecuación de balance de agua subterránea para el acuífero La Bachata-Santa Rosalita para el año 2008, se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

E_h = Entradas horizontales por flujo subterráneo

R_v = Recarga vertical

B = Bombeo

S_h = Salidas horizontales por flujo subterráneo

ETR = Salida por evapotranspiración

ΔV = Volumen drenado

Sy = Rendimiento específico

En base a las redes de flujo para el área de explotación en el año 2008, y de acuerdo al tipo de material sedimentario y espesores que afectan a cada una de las áreas; se cuantificaron las componentes para el balance del sistema acuífero, delimitando así el área de balance la cual comprende una superficie aproximada de 13.7 km² (Zona de Costa).

7.1 Entradas

7.1.1 Recarga vertical

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.

Esta componente se seleccionó como incógnita en la ecuación de balance de agua subterránea, debido a que no existe información referente a los valores de escurrimiento superficial. Por lo tanto, su estimación se efectuó a partir de la ecuación de balance de la siguiente manera:

$$R_v = (\Delta V * S_y) + (B + S_h + ET) - E_h$$

7.1.2 Recarga inducida

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. **R_i = 0.**

7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal

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 las celdas de flujo y se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero. 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

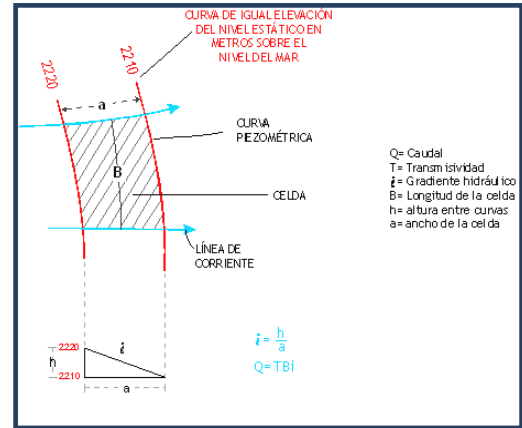


Tabla 2. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo

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	3.472	0.735	0.00479	0.0122	0.386
E ₂	2.315	0.225	0.00472	0.0025	0.078

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el año 2008 es de **0.46 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

Esta componente está representada 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. Para su cuantificación se utilizó la relación empírica de Gardner y Fireman (1958), la cual determina la tasa máxima de evaporación, a partir de las propiedades hidráulicas del medio y su granulometría. Su expresión matemática es:

$$E = K_s \left[\frac{-a\pi}{LN(\text{sen}(\pi / N))} \right]^N$$

Donde:

Ks = Conductividad hidráulica a saturación (cm/día).

a y N = Parámetros que representan la forma del suelo. Donde a se expresa en (cm), mientras que N se considera adimensional. (adim).

L= Profundidad (cm).

El área presenta una granulometría que varía de media a gruesa, predominando el material grueso hacia la zona de costa conformada depósitos eólicos y algunos cantos rodados arrastrados a lo largo del arroyo. En la parte sureste del Valle es más abundante la cantidad de material grueso, mientras que en la parte central hay mayor concentración de material medio.

Los parámetros **a** y **N** seleccionados de acuerdo a las características descritas arriba, son de **a = -18 cm** y **N = 3.8**, mientras que **Ks = 38 cm/día**. Con estos parámetros se construye la gráfica para la relación tasa máxima de evaporación – profundidad de influencia. Figura 3.

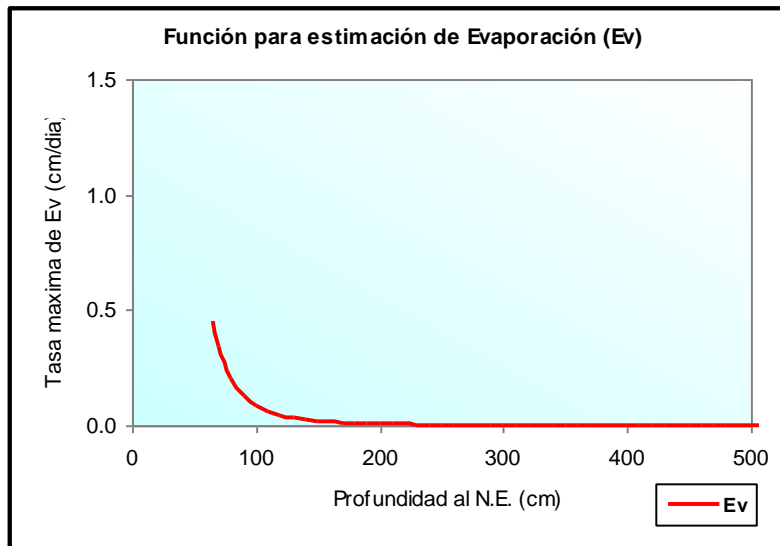


Figura 3. Relación de la tasa máxima de evaporación y profundidad de influencia

Tabla 4. Volumen evapotranspirado de acuerdo al área, con profundidades susceptibles al fenómeno de evapotranspiración

PROF. MEDIA AL NIVEL ESTÁTICO (cm)	AREA (km ²)	TASA DE EVAP. (mm/día)	VOLUMEN DE EVAP (hm ³)
2008			
100	0.59	0.88	0.19
200	1.1	0.06	0.03
300	0.67	0.01	0.00

El valor estimado de volumen para esta componente, para el año 2008 fue de **0.22 hm³/año**.

El método de Evapotranspiración empleado para el balance, se tomó considerando que los volúmenes de precipitación bajos que se presentan en el área de balance, descartando así tanto el método de Turc como el de Smith, ya que en ambos métodos para considerar confiable el volumen evapotranspirado, deben presentarse precipitaciones mayores a 320 y 300 mm respectivamente.

7.2.2 Bombeo

Esta componente se determinó de acuerdo al volumen reportado por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Para los años de balance se determinó una extracción por bombeo de **0.156168 hm³/año**.

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal

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 La Bachata-Santa Rosalita 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 6).

Tabla 6. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	B (10 ³ m)	i	Q (m ³ /s)	Vol. anual (hm ³)
SALIDAS LATERALES					
S ₁	1.736	0.635	0.0045	0.0050	0.16

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2008 es de **≈ 0.16 hm³**.

7.3 Cambio de almacenamiento

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:

$$\begin{aligned} R_v &= (\Delta V * S_y) + (B + Sh + ETR) - E_h \\ R_v &= 0.0 + (0.156168 + 0.16 + 0.22) - 0.46 \\ R_v &= 0.536168 - 0.46 = 0.076168 \approx 0.08 \text{ hm}^3/\text{anuales} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas, redondeada a un decimal es:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h \\ R &= 0.08 + 0.46 \\ R &= 0.5 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

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, tanto en forma de recarga natural como inducida. Para este caso, su valor es **0.5 hm³/año**.

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 están comprometidos 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 este caso, se considera como un porcentaje de las salidas por flujo subterráneo horizontal con un volumen de 0.03 hm³/año, 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. El valor es muy bajo, y para fines del balance se considera nulo. **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 (REPDA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **127,050 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.5 - 0.0 - 0.127050 \\ \text{DMA} &= 0.372950 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; con un valor de **372,950 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor, sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

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.

Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. 1976. Dictamen Geohidrológico en el Ejido Cooperativa Pesquera “Rafael Ortega Cruz”, Municipio de Ensenada.

Dirección de Geohidrología y Zonas Áridas. 1973. Estudio de la Composición Química de las Aguas Subterráneas, Diagrama de Scheller, en el Pozo Aguaje Benito Juárez, Municipio de Ensenada.

Dirección de Geohidrología y de Zonas Áridas. 1976. Informe Geohidrológico del Ejido Cooperativa Pesquera Sta. Rosalita, Municipio de Ensenada, Baja California.

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

Equipos y Cultivos Agrícolas de San Luis, S.A. de C.V. 1974. Resumen Técnico de Perforación del Pozo PBCELB-1.