



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO EL HUERFANITO (0239), 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.....	4
3.1	Provincia fisiográfica.....	4
3.2	Clima.....	5
3.3	Hidrografía.....	6
3.4	Geomorfología.....	6
4	GEOLOGÍA.....	7
4.1	Estratigrafía.....	8
4.2	Geología estructural.....	10
4.3	Geología del subsuelo.....	11
5	HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1	Tipo de acuífero.....	12
5.2	Parámetros hidráulicos.....	12
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.....	15
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	15
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	15
7.1	Entradas.....	16
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	16
7.1.2	Entradas por flujo horizontal (Eh).....	16
7.2	Salidas.....	19
7.2.1	Evapotranspiración (ETR).....	19
7.2.2	Bombeo (B).....	20
7.2.3	Salidas por flujo horizontal (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).....	22
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
9	BIBLIOGRAFÍA.....	24

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 Huerfanito definido con la clave 0239 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA se localiza en el Sureste del Estado de Baja California y está enmarcado por las coordenadas geográficas 114° 55' 48", 114° 33' 51.6" longitud Oeste y 30° 22' 26.4", 29° 52' 7.7" de latitud Norte, teniendo como límite oriental el Golfo de California.

Colinda en su parte norte con el acuífero Matomí-Puertecitos, al oeste con San Fernando-San Agustín, al sur con Bahía de San Luis Gonzaga y al este con el Golfo de Baja California. Se encuentra colindando con las Sierras de Santa Isabel hacia el sur, al noroeste con la Sierra de San Felipe y al noreste se encuentra la Sierra San Pedro Mártir. (figura 1)

Geopolíticamente comprende totalmente el municipio 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

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero El Huerfanito pertenece al Organismo de Cuenca I Península de Baja California y su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones del “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. Clasificado como tipo III que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

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

ACUIFERO 0238 MATOMI-PUERTECITOS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	114	43	17.5	30	17	39.0	
2	114	46	14.9	30	18	38.1	
3	114	47	51.8	30	21	32.2	
4	114	52	53.9	30	22	26.4	
5	114	55	48.0	30	19	37.2	
6	114	58	14.2	30	21	20.7	
7	115	0	49.4	30	30	51.4	
8	114	58	25.7	30	29	59.6	
9	114	57	10.4	30	36	58.5	
10	114	54	58.2	30	41	58.3	
11	114	50	39.0	30	43	33.1	
12	114	46	47.7	30	42	10.4	
13	114	42	16.1	30	42	59.9	DEL 13 AL 14 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
14	114	39	9.8	30	17	14.6	
1	114	43	17.5	30	17	39.0	

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 doméstico. Dentro de su territorio no existe distrito o unidad de riego alguna ni se ha constituido a la fecha su Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Para el acuífero El Huerfanito, no existe información previa, por lo que para elaborar el documento, análisis y balances se tomo en cuenta lo observado en el recorrido de campo.

3 FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a las Provincias Fisiográficas realizada por E. Raiz (1964), Baja California está constituida fundamentalmente por un bloque de falla inclinado, de 1,600 km de

largo y de 48 a 96 km de ancho, en la parte norte existen sierras abruptas, cuyas rocas son principalmente granitos, con alturas que alcanzan los 3,300 m. En el sur predominan las rocas estratificadas constituidas por lavas y clásticos con echados en su mayor parte horizontales siendo de 660 m las alturas de las sierras.

Incisiones a todo lo largo de la provincia son típicas de desiertos, cañones con paredes escarpadas, amplios valles rellenos con arena y una ramificación intensa de tributarios, son comunes también los gravens rellenos, muchos de los cuales tienen volcanes.

El acuífero El Huerfanito se encuentra localizado en la subprovincia fisiográfica de la Sierra Volcánica (Manuel Álvarez Jr). Que inicia con el Volcán de las Tres Vírgenes y la Sierra de Santa Lucía, que forma el extremo norte de la cadena de montañas conocida como la Sierra la Giganta, que se extiende por el borde oriental de la península hasta cerca del área de la Paz. Ésta sierra está formada por cuellos volcánicos y lavas que forman mesetas inclinadas hacia el Pacífico, por lo que las crestas más elevadas se encuentran a lo largo del Golfo de California; de ellos el Cerro de La Giganta se eleva a más de 1900 m.

3.2 Clima

Las condiciones climatológicas que existen en la zona del acuífero El Huerfanito se catalogan de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1964), para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana, la zona presenta a nivel regional, las variantes se describen a continuación:

Tipos de climas muy secos BW (con lluvias en verano, invierno y escasas todo el año)

Subtipos muy secos, muy cálidos y cálidos: BW (h´) hw (x')

Subtipos muy secos templados: BWKw (x')

Subtipos muy secos semicálidos: BWhw (x')

Las tres variantes climatológicas se localizan en el área del acuífero y poseen las siguientes características: lluvia en verano y un porcentaje de precipitación invernal mayor a 10.2 mm.

Tipos de climas secos BSo (con lluvias en invierno).

Subtipos secos mediterráneos templados: BSKs y BSKs (x'). Con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor de 36 mm.

Tipos templados subhúmedos con lluvias en invierno CS, con porcentaje de lluvia invernal de 36 mm. Tipos semifríos subhúmedos con lluvias en invierno C (E) s (x'). Presenta un porcentaje de lluvia invernal menor de 36 mm.

El acuífero presenta una precipitación anual muy variable para el periodo 1982-2007, la precipitación media anual es de 72 mm, el año que se registró la mayor precipitación total anual fue en 1997, con un valor de 279.5 mm, en tanto que el año en que se registró la menor precipitación total anual fue en 1989, con un valor del orden de los 18mm. Por otra parte a nivel de precipitaciones medias mensuales para el periodo considerado, el mes en que se registró la mayor precipitación es el de septiembre con 19.9mm, en tanto que el mes en que se registra la menor precipitación es junio con 0.1 mm. La estación climatológica de Agua de Chale, para el periodo de 1982-2008, indica una temperatura media anual de 23° C.

3.3 Hidrografía

La cuenca hidrológica del Valle de El Huerfanito se encuentra ubicada en la región hidrológica No.4. Baja California Noreste. En el área existen varios causes, todos ellos de tipo intermitente presentando dos tipos de drenaje, radial centrípeto en la parte donde escurren los causes de la Mesa Cuadrada y el Cerro Amparo, y de tipo Subparalelo más hacia la costa, donde la Mesa El Tabano y una porción de la Sierra Santa Isabel escurren.

La red de drenaje forma tributarios de 1er y 2do orden aunque también se encuentran en la parte Sur del acuífero, tributarios de 3er orden que provienen de la Sierra de Santa Isabel.

3.4 Geomorfología

Geomorfológicamente el acuífero El Huerfanito presenta dos rasgos importantes bien definidos:

El primero lo comprende la Sierra, ubicada en la porción centro oriental, con una orientación noroeste-sureste, se encuentra limitada al poniente por La Sierra Santa Isabel y La Mesa Huatamote. Esta Sierra está constituida por derrames basálticos y

brechas de la misma composición así como por granodioritas, presenta fuerte fracturamiento, y a su vez se encuentra cortada por una serie de arroyos que drenan hacia el valle El Huerfanito, al sureste del área se observa la presencia de derrames basálticos y rocas metasedimentarias del Paleozoico, mientras que el valle está constituido por depósitos aluviales no consolidados y una serie de rocas metasedimentarias al oeste.

El segundo rasgo se encuentra limitado al norte y poniente por un conjunto de cerros que se desprenden de las sierras Santa Isabel al norte y Columbia al Sureste, desarrollándose cerca de la línea de costa hacia el oeste, con una longitud aproximada de 10.55 km y un ancho máximo de 2.50 km. El valle está cubierto en su mayor parte por material aluvial y depósitos eólicos. Al sur se encuentra limitado por rocas metasedimentarias las cuales se encuentran cortadas por un sistema de fracturas con orientación NW-SE, que le confieren permeabilidad secundaria a la unidad hacia el este se observan una serie de islas denominadas el Muerto, el Huerfanito e Isla Lobos ambas de composición andesítica.

4 GEOLOGÍA

El acuífero El Huerfanito está constituido por material de tipo granular compuesto en un 95% de Cuarzo, producto de la erosión e intemperismo de las rocas graníticas que afloran en la zona, así mismo se observa una cantidad importante de micas y anfíboles minerales característicos de este tipo de rocas. En la parte media coexisten materiales de tipo granular mal seleccionados entre los que se observan conglomerados subangulosos con clastos de distintas composiciones, morfológicamente se observan algunas dunas.

La zona de recarga está compuesta por cerros de composición granítica y otros de origen metasedimentario sumamente fracturadas, los cuales han sido afectados por la intrusión de diques de composición acida, a esta unidad sobreyace una unidad de cuarzo arenitas fracturadas de 7 m de espesor aproximadamente sobre las que descansa una unidad de conglomerados de 3 m aprox. con clastos que van del 1cm hasta 4m. En la cima se observan granodioritas, Tonalitas y Derrames Basálticos. (figura 2).

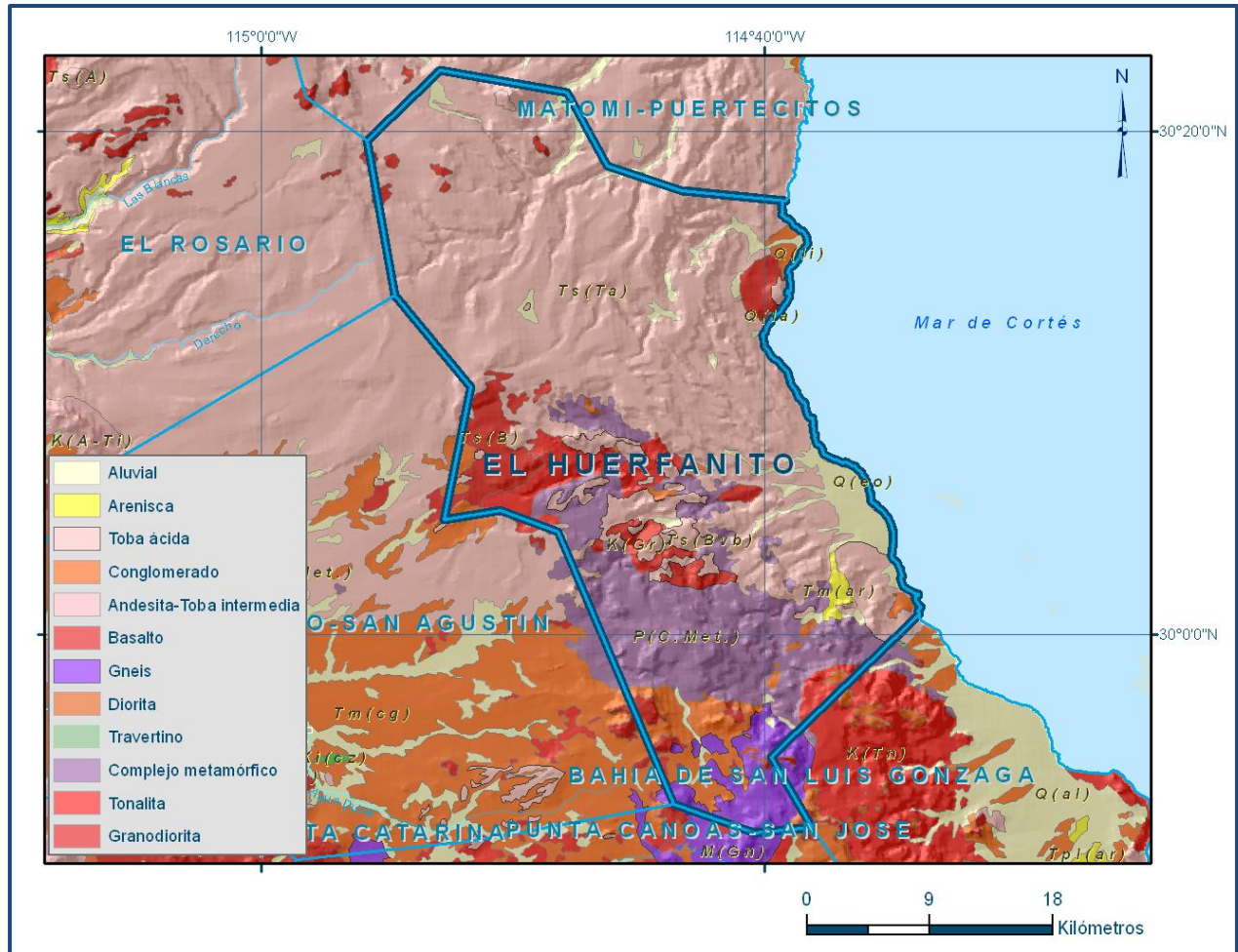


Figura 2. Geología del Acuífero

4.1 Estratigrafía

Complejo Metamórfico Paleozoico. Está constituido por mármol, esquisto y gneis generados por dinamometamorfismo de alto grado en rocas sedimentarias, que provoca una foliación con rumbo de N70°W con 30 o 40 grados de inclinación hacia el NE. Esta unidad representa el basamento regional de la península, con presencia de fósiles en metareniscas y en calizas levemente metamorfoseadas, que sitúan a esta unidad dentro del Mississipico-Pensilvanilco. Morfológicamente forma lomeríos de pendiente suave, en ocasiones interrumpidos por pequeños escarpes.

Formación Zamora y el Volcán (PopE-F-Mar): Las unidades litológicas que afloran pertenecen a dos terrenos estratotectónicos El Terreno Cortés y el Terreno Alisitos. El Terreno Cortés se distribuye en la porción oriental de la Península de Baja California,

donde afloran las rocas más antiguas que conforman el basamento, representadas por las formaciones Zamora y El Volcán que son rocas metasedimentarias, compuestas por esquisto, gneis, filita, pizarra, mármol, cuarcita, caliza y hornfels que presentan grados de metamorfismo en facies de esquisto verde a facies de anfíbolitas. La Formación El Volcán sobreyace concordantemente a la Formación Zamora y ambas afloran en la porción sureste de la Península de Baja California. Las rocas de estas formaciones se correlacionan con la secuencia paleozoica que aflora en la Sierra las Pintas, asignada al Carbonífero por la presencia de crinoides, corales, bivalvos y braquiópodos.

Formación San Hipólito (Tr-Jr): La constituyen una serie de rocas carbonatadas, clásticas y volcánicas que fueron sometidas a un proceso de dinamometamorfismo así como a un proceso de metamorfismo de contacto, dando como resultado filitas, esquistos, skarns y hornfels, la orientación principal de su foliación es Noroeste-Sureste. Esta unidad sedimentaria se atribuye a una secuencia de arco insular. Presenta un espesor de 200 m aproximadamente. Morfológicamente forma cerros de topografía abrupta, a diferencia de la unidad paleozoica y junto con esta forma el cinturón metamórfico prebatolítico, que tiene sus principales afloramientos en las sierras de Juárez y San Pedro Mártir.

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.

Formación Alisitos (Krm): Está constituida por una serie de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias; las primeras de composición dasoandesítica mientras que las rocas sedimentarias están constituidas por la denudación de las rocas volcánicas y volcanoclásticas, están afectadas por un proceso de dinamometamorfismo el cual va disminuyendo de oriente a poniente. Se encuentra coronando a las rocas de edad Triásico-Jurásico en forma discordante; con un espesor máximo de 5000 m.

Batolito Cretácico de Baja California (Kr): Grupo de cuerpos intrusivos de composición granítico-tonalítica-granodiorítica, que localmente están constituidos

por plutones de diorita y gabro. Estos, se encuentran afectando a las formaciones San Hipólito y Alisitos produciendo en estos halos de metamorfismo.

Esta unidad conforma al cinturón batolítico que ha dividido a las rocas del Cretácico y Jurásico como rocas post y pre batolíticas respectivamente.

Unidad Volcánica: se encuentra representada por rocas piroclásticas de composición ácida, derrames andesíticos y dacíticos, casi todos cubiertos por basaltos plio-cuaternarios. Por su posición dentro de la columna estratigráfica se le ha asignado una edad Mioceno-Plioceno. Su expresión morfológica es de mesetas cortadas que oscilan hacia el oriente, en algunas partes estas mesetas alcanzan grandes alturas.

Aluvial (Qal): Está constituido por cantos rodados de materiales preexistentes de origen volcánico, tobas y lavas, estos depósitos son resultado de la erosión de la roca madre de origen Ígneo que constituye la Formación Comondú; presentan una edad Pleistoceno conforme a su posición estratigráfica y a la presencia de fauna marina (pleistocénica en los litorales del Golfo de California), constituye las vegas de los arroyos con una alta permeabilidad. Representa la unidad principal de recarga al acuífero.

Fluvial (Qfl): Son suelos residuales, aluviales, gravas, arenas, limos, tobas y conglomerados volcánicos que sufrieron posteriormente descomposición química. Constituye los cauces y arroyos que por su alta permeabilidad definen las zonas de infiltración.

4.2 Geología estructural

La emersión del área peninsular durante el pleistoceno, proporcionó a la zona de El Huerfanito, el máximo desarrollo de grandes fallas cuyo desplazamiento se inició en el Mioceno, formando enormes bloques cuya orientación es paralela al Eje Miocénico del Golfo de California. Este sistema de fallas origino la formación de las Sierras cuyas alturas topográficas mayores corresponden a la de los bloques localizados hacia el occidente y las alturas menores hacia el oriente.

Se realizó trabajo de fotointerpretación en el cual se pudieron determinar los lineamientos existentes correspondientes a posibles fallas y fracturas, para esto se utilizaron cartas topográficas escala 1:50 000, modelos de elevación de la zona además se realizó observación en campo de las estructuras vistas en los modelos así como un

reconocimiento geológico general de la zona. En la zona de recarga, específicamente Sierra se observa un escarpe de falla normal de dirección N45°W con echado hacia el Sureste. Esto quiere decir que en la zona actuaron esfuerzos distensivos (σ_3) resultantes con dirección NE-SW teniendo al esfuerzo principal máximo (σ_1) en posición vertical con la misma dirección de forma general la zona se ve afectada por fracturas que presentan la misma orientación NW-SE.

4.3 Geología del subsuelo

Las unidades hidrogeológicas en el acuífero se tomaron de acuerdo a las características que presentan los acuíferos colindantes ya que son prácticamente las mismas en este caso se consideraron las siguientes unidades que corresponden al acuífero Bahía de San Luís Gonzaga tomando en cuenta una variación en cuanto a los espesores y rocas que afloran:

Unidad permeable: Esta unidad la constituyen depósitos sedimentarios aluviales integrados por arenas de diferente granulometría, gravas gravillas, se caracterizan por tener una elevada permeabilidad. Se consideran las acumulaciones piemonte y fluviales que integran arenas gruesas y arcillas, además se tienen depósitos eólicos y areniscas que por su exposición reducida no tienen gran importancia hidrogeológica.

Unidad Semipermeable: La unidad volcánica está representada por andesitas y basaltos que por su intenso fracturamiento adquieren una permeabilidad secundaria, pero por su posición estratigráfica funcionan como transmisoras de agua a formaciones subyacentes, en esta unidad se agrupan los conglomerados polimícticos de bajo grado de interés.

Unidad Impermeable: Dentro de esta unidad se encuentran las rocas metasedimentarias, intrusivas-metamórficas e intrusivas. Las rocas metasedimentarias pre-batolíticas de acuerdo con sus características litológicas y estructurales, se les considera como basamento impermeable y en esta misma se agrupan rocas intrusivas metamórficas. Considerando su origen y litología así como su relación con las rocas intrusivas, su funcionamiento es de una roca impermeable, así mismo las rocas intrusivas con algunas alteraciones por meteorización y fracturamiento las cuales pueden almacenar pequeñas cantidades de agua.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El sistema anteriormente descrito en el apartado de geología estructural constituye las unidades geológicas impermeables de la cuenca, formadas por rocas graníticas y metamórficas. El rejuvenecimiento del paisaje ocasionado por el levantamiento de la zona, propicio una etapa de erosión en las Sierras acarreado grandes volúmenes de sedimentos hacia la terraza marina recién emergida, rellenando las lagunas marginales de agua salada que quedaron atrapadas durante la emersión.

Del análisis de lo anterior y de los reconocimientos de campo, se desprende que las mejores zonas de permeabilidad las construyen los causes recientes de los arroyos El Placer de los Peralta y Zamora dada su granulometría y a que representan los colectores del escurrimiento superficial de la cuenca y de la recarga acuífera al valle. De acuerdo a las características en cuanto la disposición del material granular que presenta la zona se considera que el acuífero es de tipo Libre.

5.2 Parámetros hidráulicos

No se conocen los valores de los parámetros hidrodinámicos debido a que en el acuífero no se han ejecutado pruebas para determinar sus propiedades hidráulicas. 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

Para el año 2008 se realizó un recorrido en donde se midió la profundidad al nivel estático en los aprovechamientos localizados dentro del acuífero, encontrándose únicamente una noria con la cual se elaboraron las configuraciones correspondientes extrapolando los puntos de la línea de costa hacia el punto medido.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático para el 2008 es de 37.42 m en una franja de 2 km de ancho respecto de la línea de costa. A partir de esta franja hacia la costa la profundidad desciende hasta alcanzar el nivel medio del mar. (figura 3).

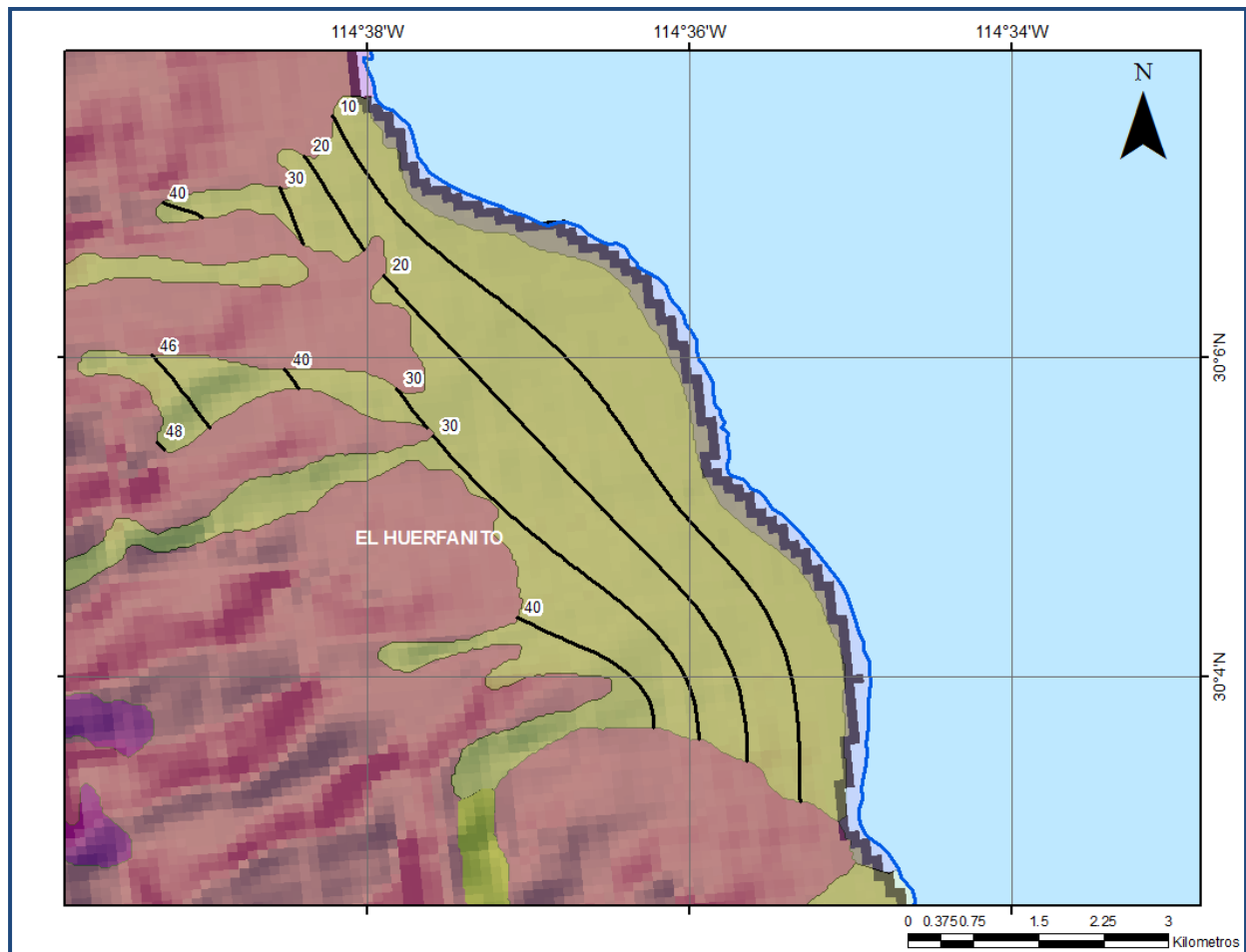


Figura 3. Profundidad al Nivel Estático (m) 2008

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático es de 0.6 msnm aproximadamente a 7km 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. En el acuífero El Huerfanito la dirección del flujo subterráneo ocurre de noroeste a sureste. Actualmente prevalecen las condiciones naturales, sin mostrar alguna alteración, debido a la reducida extracción de agua subterránea y a que su mala calidad natural limita su uso (figura 4).

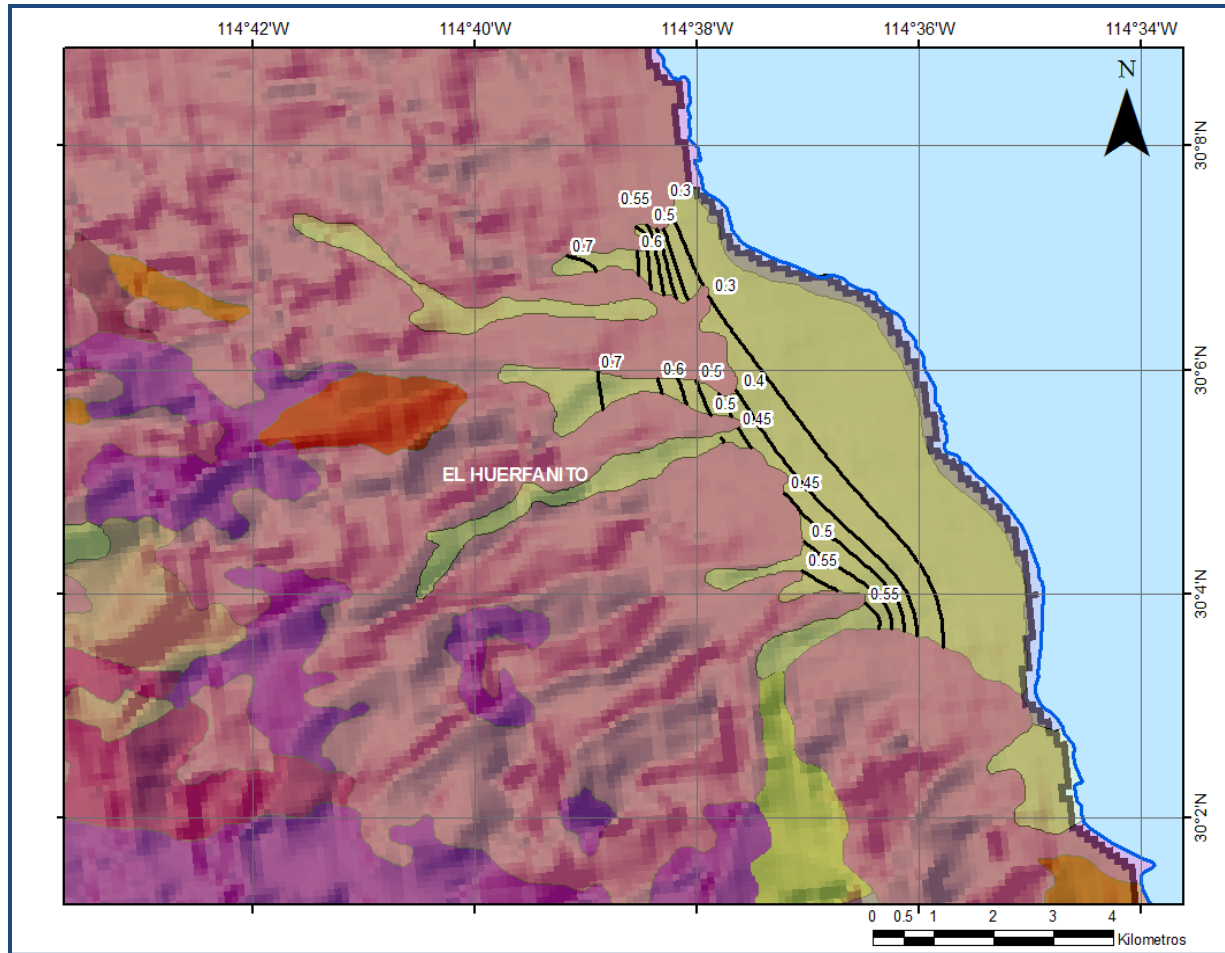


Figura 4. Elevación del Nivel Estático (msnm) 2008

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.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Para realizar el presente documento, se realizó una visita de reconocimiento en donde se midieron parámetros físico-químicos en los aprovechamientos establecidos en la zona y en el área de descarga.

Reportando una conductividad eléctrica de 1.46 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica que el agua es de buena calidad, ya que la cantidad de sólidos totales disueltos que representa es de 934.4 ppm aproximadamente.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la visita de reconocimiento al sitio se detectó un solo aprovechamiento en la zona del acuífero.

Tabla 2. Número de pozos por uso

Uso	Agrícola	Abrevadero	Industrial	Doméstico.	Servicios
Número de pozos	0	0	0	1	0

De esta manera, el 100 % corresponde al uso Doméstico. El volumen de extracción asciende a los **001825 hm³ anuales**.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo únicamente para el año 2008, en una superficie de **26.02 km²**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos. La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga) y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de masa 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:

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

7.1 Entradas

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

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Para este caso, dado que no existen poblaciones urbanas importantes, el riego agrícola es incipiente y utiliza sistema tecnificado, no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

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

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

Donde:

R_v : Recarga Vertical

E_h : Entradas por flujo horizontal

B : Bombeo

S_h : Salidas por flujo horizontal

ETR : Evapotranspiración real

$\Delta V(S)$: Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo horizontal (E_h)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a

través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático (figura 5). De acuerdo con la ecuación de Darcy para medios porosos, tenemos que:

$$Q = V \cdot A$$

Considerando una sección, con una longitud (B) y ancho (a), con una diferencia de alturas de (Δh). El área de la sección quedará definida por:

$$A = B \cdot a$$

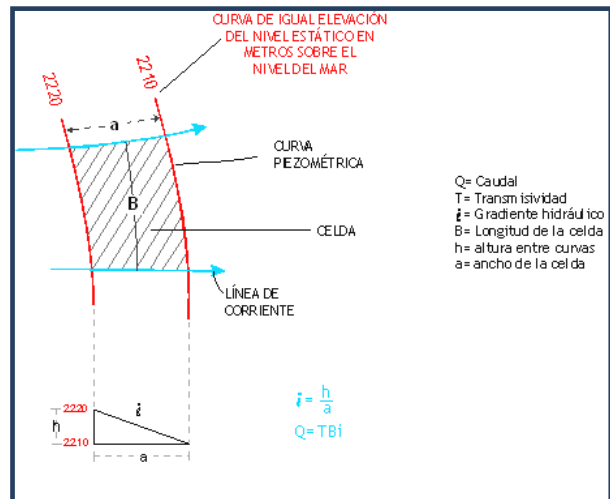
Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

Donde:

K= Coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

i = Gradiente hidráulico ($\Delta h / \Delta L$) Δh y ΔL son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.



Sustituyendo en la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q = B \cdot a \cdot K \cdot i$$

Ya que la transmisividad $T = K \cdot a$, la ecuación queda reducida a:

$$Q = T \cdot B \cdot i$$

Donde:

T = Transmisividad en m^2 / s .

B= Longitud de la celda en m.

i = Gradiente Hidráulico, en m.

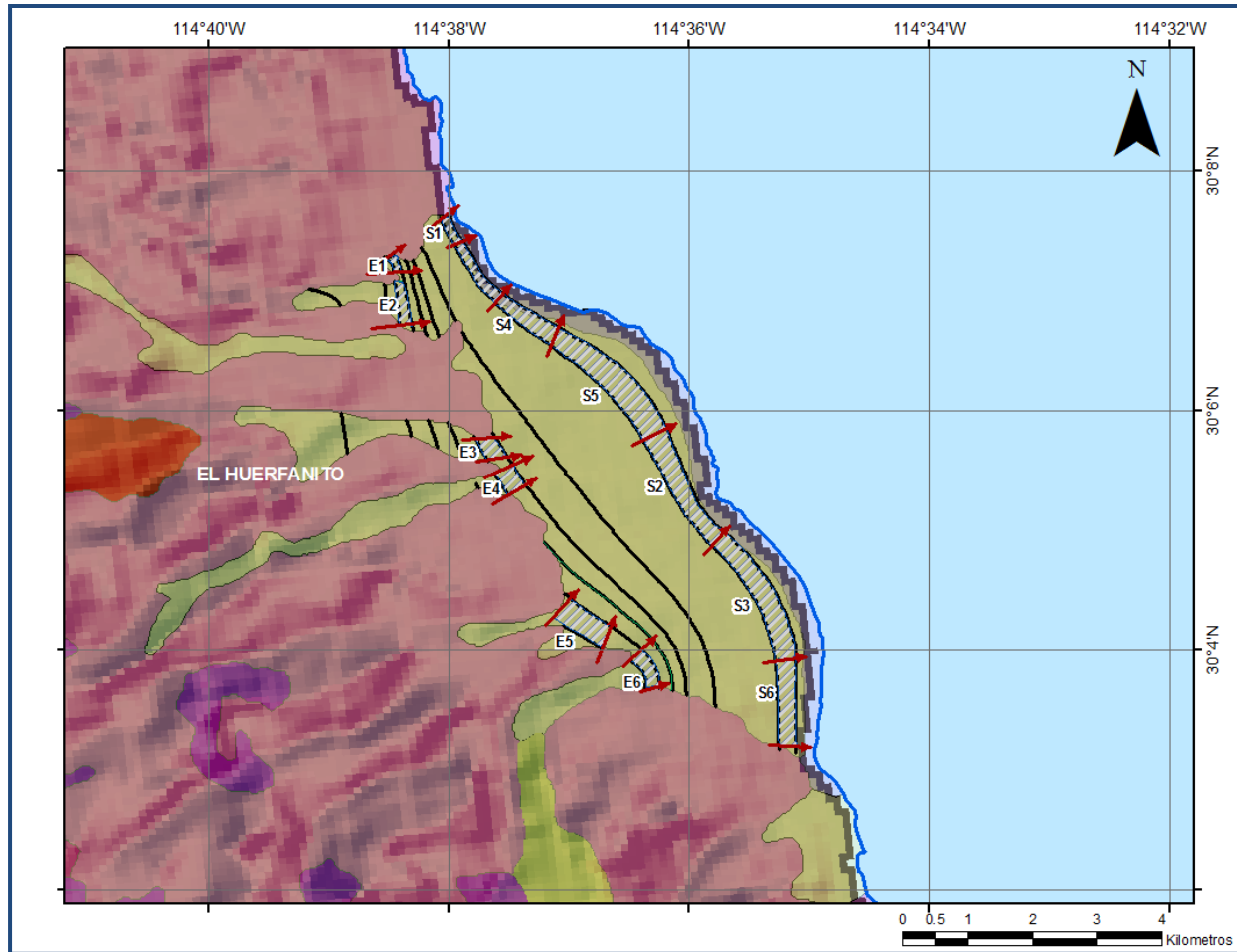


Figura 5. Celdas de entradas y salidas de flujo horizontal

Tabla 3. Estimación del volumen de entrada por flujo subterráneo 2008

Celda	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m^3/s)	Volumen anual (hm^3)
E1	4.630	260	0.00038	0.0005	0.014
E2	4.630	665	0.00036	0.0011	0.035
E3	4.630	360	0.00019	0.0003	0.010
E4	3.704	370	0.00018	0.0002	0.008
E5	4.167	610	0.00014	0.0003	0.011
E6	4.167	610	0.00014	0.0003	0.011

Se determinó que para el año de análisis, el volumen de entrada es de **0.1 hm^3** .

7.2 Salidas

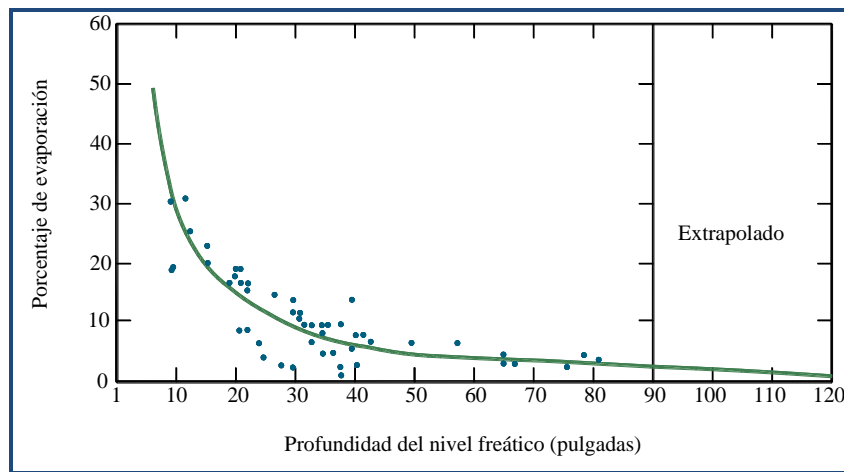
La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y las salidas subterráneas hacia el mar (Sh). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del arroyo.

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

Esta componente está representada por la descarga de una unidad hidrogeológica 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.

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

De forma adicional para observar el fenómeno de evapotranspiración se considera el tanque evaporímetro expresado como un porcentaje de evapotranspiración, donde la evaporación es comparativamente más alta, en los niveles freáticos < 100 cm de la superficie del suelo, posteriormente disminuye hasta hacerse despreciable, para las zonas donde los niveles freáticos son > 300 cm, según White citado por Keith (1973). En la tabla 4 se muestran los porcentajes respecto al volumen evaporado para las profundidades de 100, 200 y 300 cm, para el año 2008.



El porcentaje evaporado se estimó de la representación gráfica realizada por White, respecto a la evaporación de los suelos que varían desde arcillas a limos. Para obtener el volumen total evapotranspirado, se multiplica el porcentaje estimado por la lámina evaporada en este caso es de **2,364.6 mm para 2008** este valor se tomo de un promedio estimado de acuerdo a los años en que existe información, los valores se tomaron de la estación climatológica San Agustín (033), con ellos se obtuvo una lámina evaporada para el año 2008 de acuerdo a la profundidad media al nivel estático (100, 200 y 300cm), multiplicando finalmente por el área susceptible a la evaporación respecto a cada año de análisis se obtuvo un volumen anual total evapotranspirado para 2008 de **0.4 hm³**.

Tabla 4. Volumen evapotranspirado respecto al % estimado a la gráfica de White de acuerdo al área, con profundidades susceptibles al fenómeno de evapotranspiración

Prof. media al nivel estático (cm)	% de evaporación (estimado o grafica de White)	Lámina Evaporada en el acuífero (mm/año)	Lámina Evaporada en el acuífero de acuerdo a la profundidad (mm/día)	Área (km ²)	Volumen evapotranspirado (hm ³ /año)	Total Volumen Evapotranspirado (hm ³ /año)
2008						
100	6.25	2,364.6	0.40	1.4	0.21	
200	3.75	2,364.6	0.24	1.46	0.13	
300	0.92	2,364.6	0.06	1.09	0.02	
						0.37

7.2.2 Bombeo (B)

Esta componente se determinó de acuerdo al volumen reportado por el Registro Público de derechos de Agua (REPDA). Para el año de balance se determinó una extracción por bombeo de 0.001825 hm³/año. La cifra que se utiliza en la solución del balance es **0.0 hm³**.

7.2.3 Salidas por flujo horizontal (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 que se construyeron de la misma forma que para el cálculo de entradas.

Las salidas por flujo subterráneo (cuando existen), son hacia el mar. En este caso se determinaron 6 a lo largo de la costa, los valores se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Estimación del volumen de salida por flujo subterráneo 2008

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	Longitud B (m)	i	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen anual (hm ³)
S1	3.646	425	0.0004	0.0006	0.020
S2	2.836	1,865	0.00016	0.0008	0.026
S3	2.025	2,080	0.00018	0.0008	0.024
S4	2.604	965	0.00021	0.0005	0.017
S5	2.431	2,045	0.00015	0.0008	0.024
S6	2.431	1,345	0.00019	0.0006	0.020

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2008, se considera es de **0.1 hm³**.

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

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.

$$\Delta VS = 0$$

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

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

$$R_v = 0.1 + 0.0 + 0.4 - 0.0 - 0.1$$

$$R_v = 0.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 0.4 + 0.1$$

$$R = 0.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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 **0.5 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **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 **1,825 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.5 - 0.0 - 0.001825 \\ \text{DMA} &= 0.498175 \text{ hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **498,175 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 de la Península de Baja California, Mediante la Aplicación de la NOM-011-CONAGUA-2000. Universidad Autónoma de Baja California.

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