



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO PUNTA CANOAS-SAN JOSÉ (0232),
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.....	3
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3	FISIOGRAFÍA.....	4
3.1	Provincia fisiográfica	4
3.2	Clima.....	5
3.3	Hidrografía.....	5
3.4	Geomorfología	6
4	GEOLOGÍA.....	6
4.1	Estratigrafía.....	7
4.2	Geología Estructural.....	9
4.3	Geología del Subsuelo	9
5	HIDROGEOLOGÍA.....	9
5.1	Tipo de Acuífero	9
5.2	Parámetros hidráulicos	10
5.3	Piezometría.....	10
5.4	Comportamiento hidráulico	11
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	11
5.4.2	Elevación del nivel estático	12
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	13
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	13
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	14
7.1	Entradas.....	15
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	15
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	16
7.2	Salidas.....	17
7.2.1	Evapotranspiración (ETR)	17
7.2.2	Bombeo (B).....	19
7.2.3	Salidas por flujo horizontal (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 Punta Canoas-San José definido con la clave 0232 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se encuentra ubicado en la porción sur-occidental del estado de Baja California. Colinda al norte con el acuífero El Huerfanito y San Fernando-San Agustín, al sur con el Océano Pacífico, al este con Bahía de San Luis Gonzaga, al oeste con el acuífero de Santa Catarina; entre los paralelos 29° 25' y 29° 34' de latitud norte y entre

los meridianos 114° 26' y 115° 09' de longitud oeste; su extensión es de 3 561 km² aproximadamente. Geopolíticamente se ubica 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.

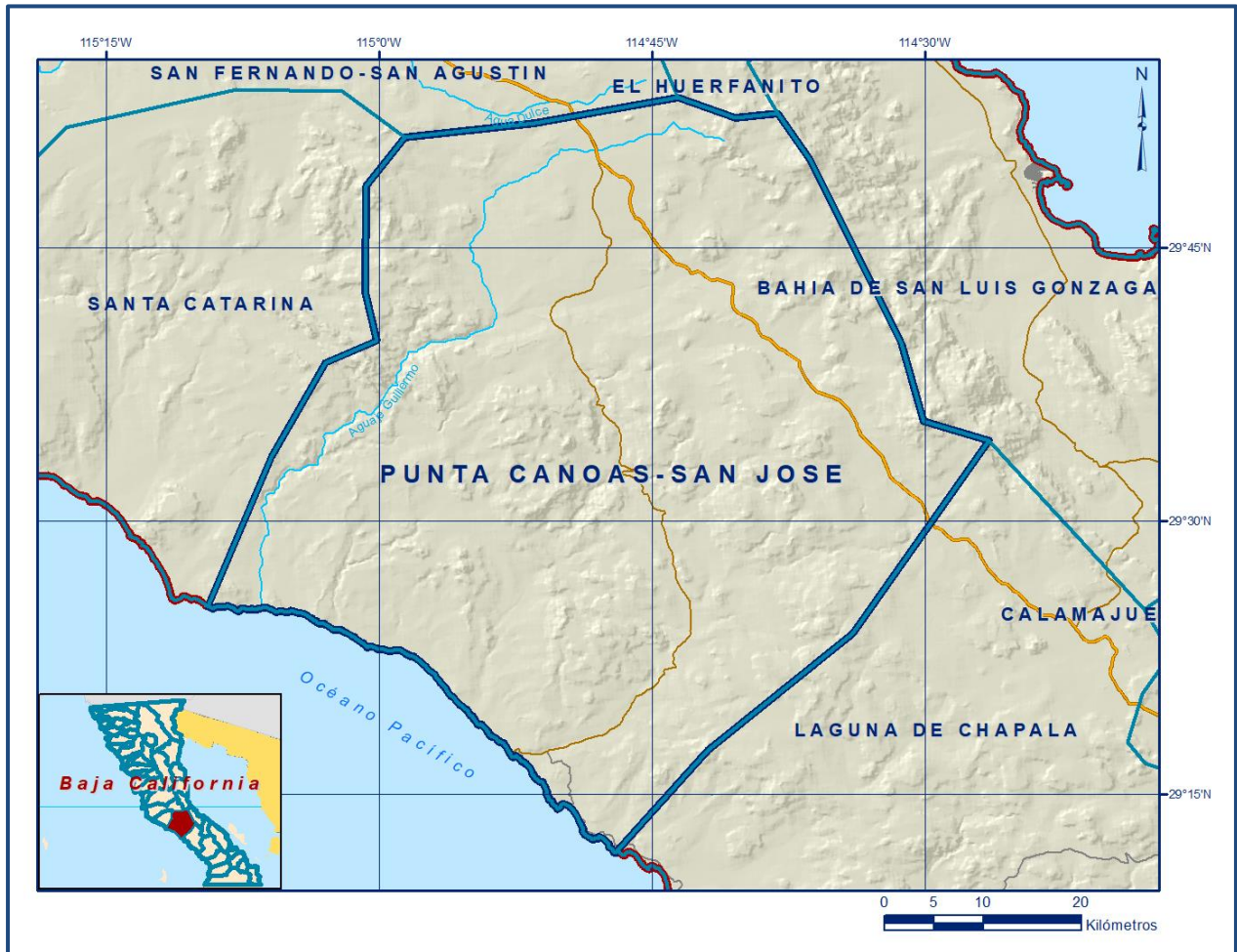


Figura 1. Localización del acuífero

1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Punta Canoas-San José 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 del acuífero

ACUIFERO 0232 PUNTA CANOAS-SAN JOSE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	115	9	23.6	29	25	18.5	
2	115	5	53.8	29	33	32.9	
3	115	2	58.8	29	38	40.5	
4	115	0	9.3	29	39	53.7	
5	115	0	46.9	29	42	31.9	
6	115	0	43.0	29	48	22.3	
7	114	58	35.0	29	51	3.9	
8	114	51	26.0	29	51	50.1	
9	114	43	35.9	29	53	14.4	
10	114	40	25.2	29	52	7.7	
11	114	38	7.9	29	52	21.2	
12	114	36	18.6	29	49	46.2	
13	114	31	20.1	29	39	45.4	
14	114	30	7.8	29	35	26.8	
15	114	26	32.0	29	34	25.0	
16	114	33	58.8	29	23	49.5	
17	114	41	57.1	29	17	25.0	
18	114	46	56.6	29	11	52.3	DEL 18 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	115	9	23.6	29	25	18.5	

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. 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).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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.

Realizado para la Comisión Nacional del Agua (2005) por Universidad Autónoma de Baja California.

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 Fisiográfica 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 y Sub-provincia de la Sierra Cristiana (Álvarez 1964), la cual se halla en la parte noroccidental del estado de Baja California Norte.

3.2 Clima

El área del acuífero bajo estudio 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 mayores al 36%. De acuerdo con la clasificación climatológica de Köppen, modificado por E. García (1964) para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana, se tiene que el área presenta a nivel regional, las variantes se describen a continuación:

BW_{hs}: 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.

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

La estación climatológica de Guayaquil para el periodo de 1977-2008 indica una temperatura media anual de 18.9° C.

El valle de Punta Canoas presenta una precipitación anual muy variable para el periodo 1977-2008, el año que se registró la mayor precipitación total anual fue en 1978, con un valor de 500.6 mm, en tanto que en los años 2004 a 2008 la precipitación fue nula.

3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 2, denominada Baja California centro-oeste.

Pertenece a la cuenca del Arroyo Santa Catarina y Arroyo Rosarito, colinda al norte con la cuenca del Arroyo Agua Dulce-Santa Clara, al sur y oeste con el Océano Pacífico, al sureste con la cuenca de San Miguel-Arroyo de la Vigía y Arroyo Santa Isabel, y finalmente al este con el acuífero de cuenca del Arroyo Calamajué.

La corriente principal de la cuenca Arroyo Santa Catarina y Arroyo Rosarito, es el arroyo La Bocana, que tiene su origen en el cerro 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 de poca importancia; siguiendo con dirección suroeste-oeste, la corriente pasa por las localidades de San Luisito y Bocana, aquí recibe al efluente importante por la margen derecha denominado arroyo Mesa Prieta; posteriormente sigue su curso hasta desembocar en el Puerto Canoas, con pendiente media 0.02% y un recorrido total de 76.125 km; otra corriente importante en la cual se puede hacer mención es el arroyo Santa Catarina, que recorre 50 km en sentido norte-sur, hasta desembocar en el Océano Pacífico. (Libro Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT. Edición 2007).

3.4 Geomorfología

El acuífero se encuentra representado en la mayoría por rocas intrusivas de composición granítica formando zonas con declives poco pronunciados; dando origen a una topografía muy pronunciada, llegando a formar en ocasiones escarpes, zonas pedregosas, por consecuencia la superficie granítica, está expuesta a agentes de erosión e intemperismo de tipo esferoidal favorecido por las zonas fracturadas, donde el agua penetra y adicionalmente con intemperismo químico, redondea las esquinas de los bordes angulosos, por lo que finalmente los fragmentos adquieren una forma redondeada, este tipo de superficies es característico en la zona. Dentro del acuífero se observan localizados en la planicie pequeños depósitos fluviales muy locales.

4 GEOLOGÍA

El ambiente geológico que predomina dentro del acuífero es de composición ígnea, las unidades litológicas más antiguas están representadas por andesitas y tobas andesíticas de edad Cretácico Inferior las cuales forman parte de una secuencia vulcano sedimentaria perteneciente al Grupo Alisitos, se observa también la presencia de rocas ígneas intrusivas de composición granítica y granodiorítica (figura 2).

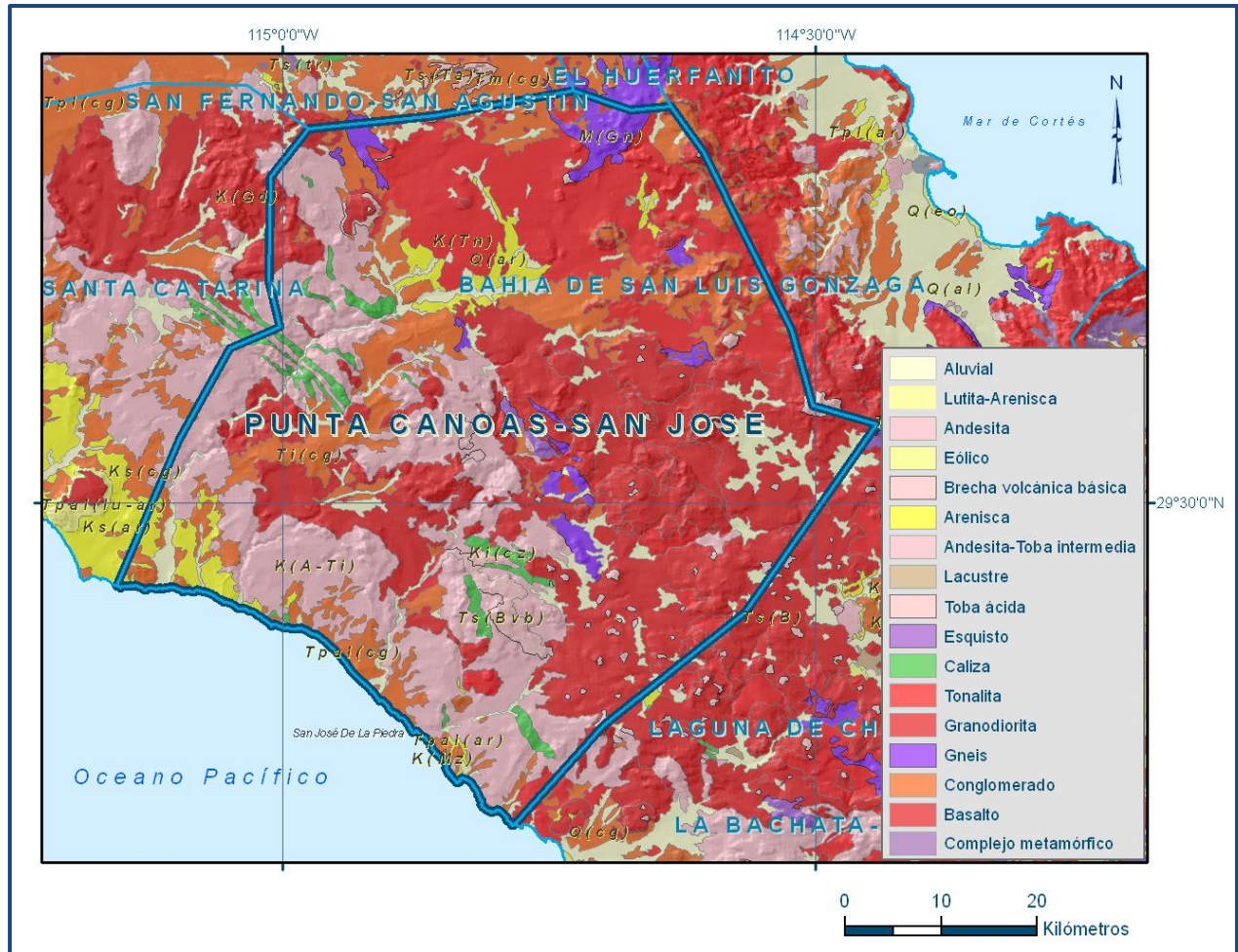


Figura 2. Geología del acuífero

4.1 Estratigrafía

Complejo Metamórfico Paleozoico. Está constituido por mármoles, esquistos 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 Mississippico-Pensilvanilco. Morfológicamente forma lomeríos de pendiente suave, en ocasiones interrumpidos por pequeños escarpes.

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 Alisitos (Krm): Constituida por una serie de rocas volcánicas, volcánico-clásticas y sedimentarias; las rocas volcánicas tienen una composición dacítico-andesítica mientras que las rocas sedimentarias son producto de la denudación de las rocas volcánicas y volcánico-clásticas; esta formación se encuentra afectada por el proceso de dinamometamorfismo, presente en la zona, el cual disminuye su intensidad de este a oeste correspondiente al Paleógeno. La presencia de esta formación se observa en las partes altas que circundan al valle.

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.

Formación Imperial (Tr): Compuesta por clastos y carbonatos, como areniscas, conglomerados, y depósitos sedimentarios en estratos delgados: se le ha asignado una edad del Plioceno y forma pequeñas lomas de pendiente suave.

Depósitos Cuaternarios (Qal): La unidad (Qal) incluye a los depósitos aluviales y de piedemonte del área, constituidos por arenas limpias de grano medio a grueso y por gravas bien graduadas. Los clásticos se han derivado de rocas ígneas y metamórficas, con fragmentos de cuarzo lechosos, feldespatos y micas. Estos depósitos se encuentran distribuidos localmente en áreas pequeñas al igual que los espesores.

4.2 Geología Estructural

Las fallas son principalmente de tipo normal, habiendo algunas fallas de desplazamiento horizontal, cuya representación fisiográfica es de cañones como el del arroyo El Cuervito y San José. Debido a la relación que muestran las rocas que son afectadas, se considera que las estructuras con esta orientación son de edad precámbrica, 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

En la zona del acuífero se identifican, por sus características, tres tipos de 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 se considera presenta bajas resistividades.

Unidad permeable: está constituida por materiales granulares poco compactos de granulometría variada, predominantemente gruesos y saturados. Los espesores en este tipo de material son en promedio de 10 a 25 m, siendo en este tipo de material donde se encuentran las áreas explotables. Las cuales tienen una localización escasa.

5 HIDROGEOLOGÍA.

5.1 Tipo de Acuífero

El acuífero presenta una capa muy pobre de sedimentos de edad Terciaria - Cuaternaria, con espesores que varían no más de 25 m, estos materiales sobreyacen a las rocas ígneas que constituyen el basamento de la zona y en la cual se logra ver aflorando parte de lo que fue el Batolito Peninsular de composición granodiorítica. Todas las unidades litológicas están afectadas por estructuras, como fallas y fracturas que en algunas ocasiones aumentan su permeabilidad debido a la orientación que presentan.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las unidades con mayor potencial son los depósitos granulares por la porosidad que muestran en segundo plano se encuentran las rocas volcánicas gracias al fracturamiento y fallamiento, el resto de las unidades constituyen límites impermeables tanto en sentido vertical como horizontal. Permitiendo la recarga a través de la infiltración de las lluvias escasas y del agua que llega a circular por arroyos intermitentes alternos a la zona. Los materiales granulares por su origen, presentan en general una fuerte heterogeneidad lateral y vertical; esta heterogeneidad se ve incrementada cuando están en contacto con materiales ígneos. Todo lo anterior da como resultado una serie de horizontes de permeabilidad variable, con diferentes espesores, y continuidad lateral, que cuando están saturados de agua dan lugar a un **acuífero de tipo libre**.

5.2 Parámetros hidráulicos

Los datos obtenidos respecto a esta componente dentro del acuífero, permite definir las características hidráulicas del acuífero, las cuales señalan que se trata de un **acuífero de tipo libre** con valores variables, de acuerdo con la granulometría de la zona de captación.

Debido a que en el acuífero no se han ejecutado trabajos para determinar sus propiedades hidráulicas, se considera que son similares a las de los acuíferos Nuevo Rosarito, San Fernando- San Agustín, Laguna de Chapala, entre otros, dentro del estado de Baja California ya que presentan características similares en cuanto al medio granular donde se encuentran localizados los aprovechamientos.

5.3 Piezometría

En el área no existe un historial piezométrico. En el acuífero se encuentran emplazados pocos aprovechamientos debido a que en la zona los espesores del material granular son muy escasos y de espesores pobres. En el año 2008 se realizó un recorrido para determinar las características geológicas y geohidrológicas que se presentan en la zona. A partir de este recorrido y de las mediciones de Nivel Estático en los aprovechamientos localizados, se realizó una configuración para observar el comportamiento del flujo subterráneo delimitando en el acuífero siendo 2 áreas de explotación a considerar.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo a la configuración realizada con los datos obtenidos para el año de análisis 2008 en el área de explotación 1 (AE1) se observa que la profundidad varía entre 2 y 4 m, localizándose las mayores profundidades en la porción Este, donde se encuentra el poblado Santa Inés, observándose así una disminución gradual del nivel piezométrico hacia las partes más bajas, además se observa que cerca al poblado de san Luís el nivel piezométrico se encuentra más somero, para el área de explotación 2 (AE2) las profundidades varían de 1 a 3 m las mayores profundidades se presentan en el límite oeste del área de aprovechamiento los valores disminuyen de forma gradual en sentido Sureste. (figuras 3).

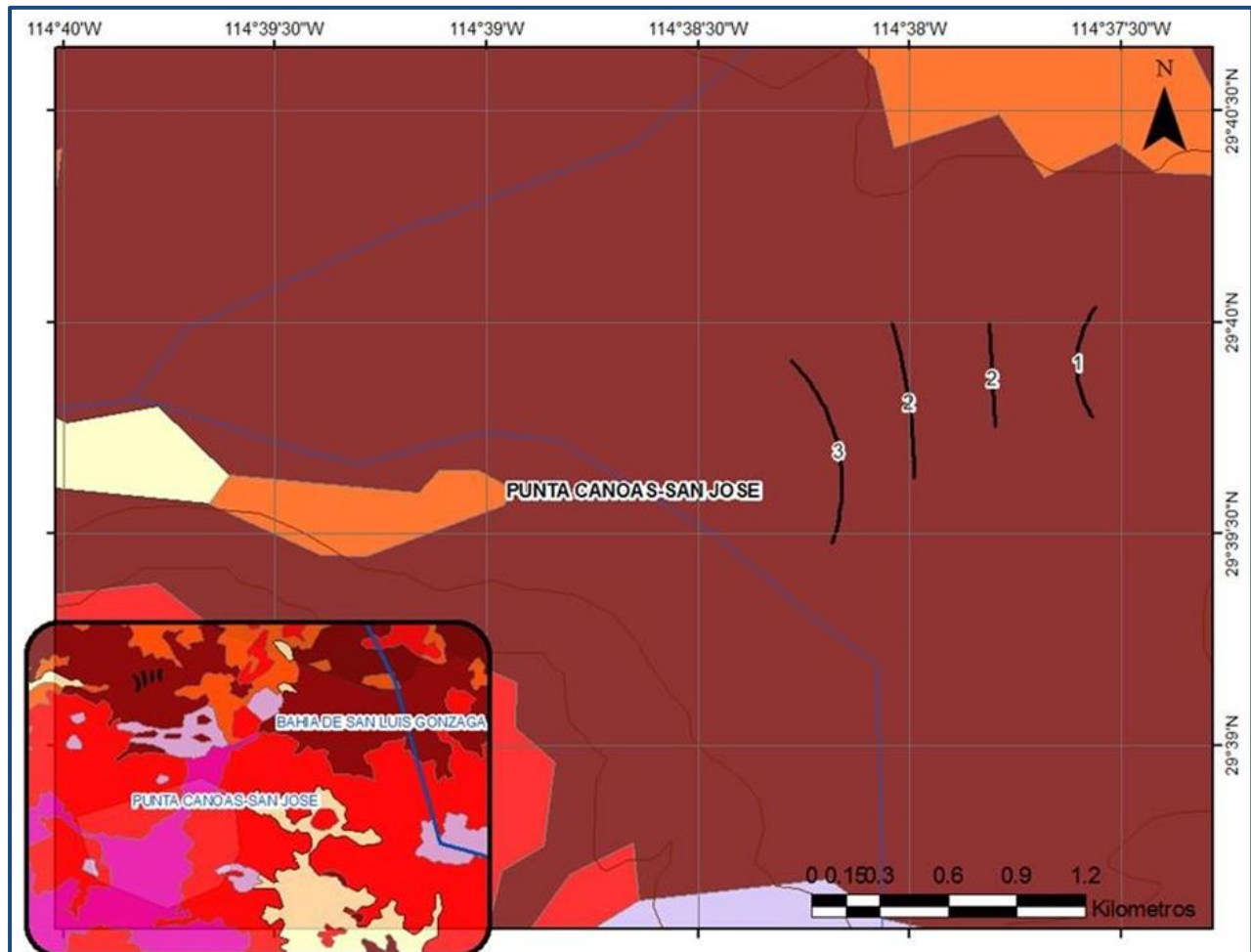


Figura 4. Profundidad al nivel estático 2008 Área de explotación 2

5.4.2 Elevación del nivel estático

Es el principal indicador del flujo subterráneo si las cargas están referidas a la elevación media del nivel del mar. De esta forma las zonas de saturación de mayor elevación generan un movimiento del agua subterránea en dirección de las zonas donde la elevación de los niveles de saturación es menor, todo esto si no existen fronteras que impidan el flujo. Para el área de explotación 1 las elevaciones reflejan que el flujo del agua en el subsuelo tiene semejanza con un hipotético flujo en condiciones naturales con dirección de Noreste a Suroeste, cuyo comportamiento es gradual hacia las zonas bajas variando de 572 a 526 msnm, para el área de explotación dos el comportamiento disminuye gradualmente y varían de 660 a 621 msnm en dirección al Oeste (figura 5 y 6).

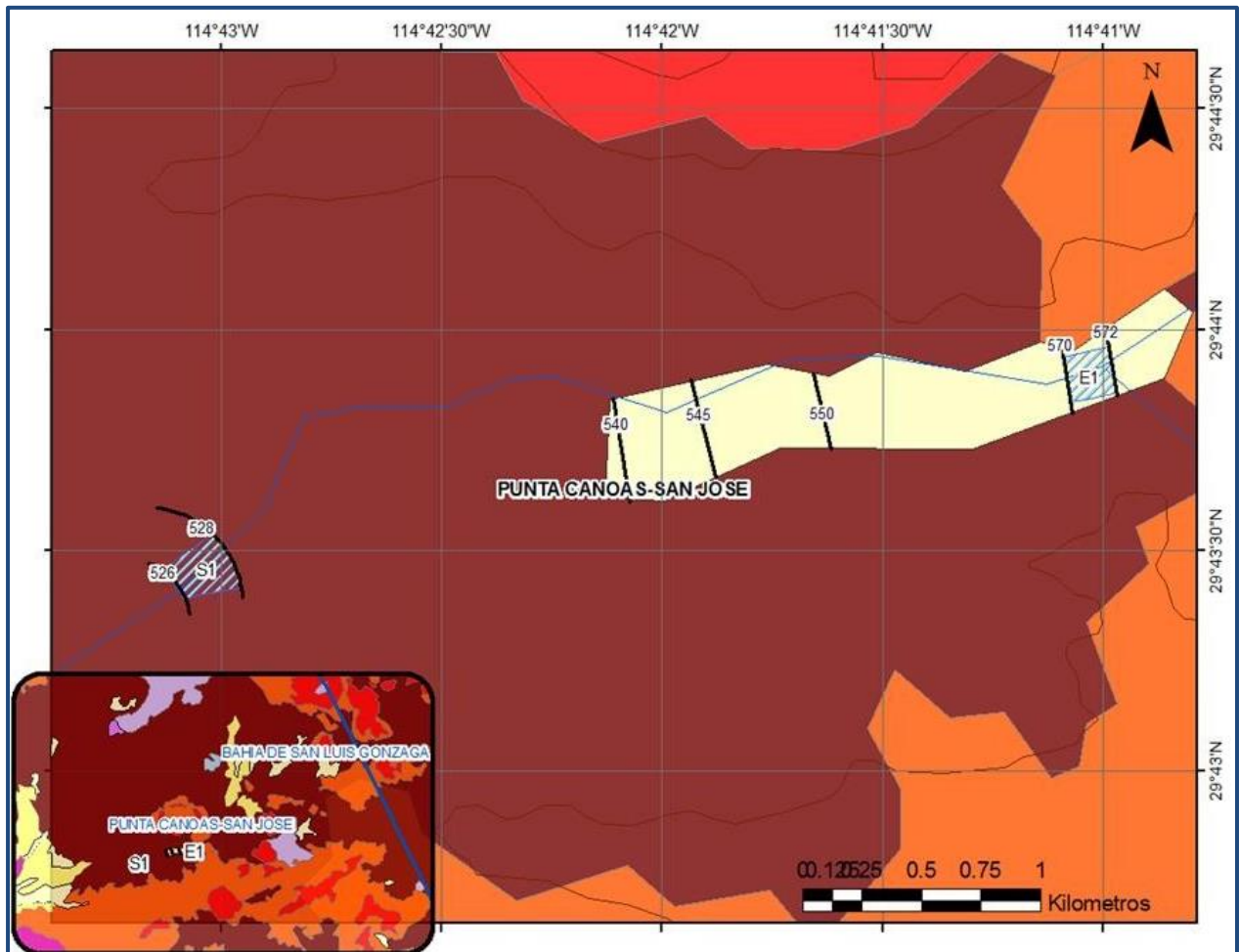


Figura 5. Elevación del nivel estático 2008 Área de explotación 1

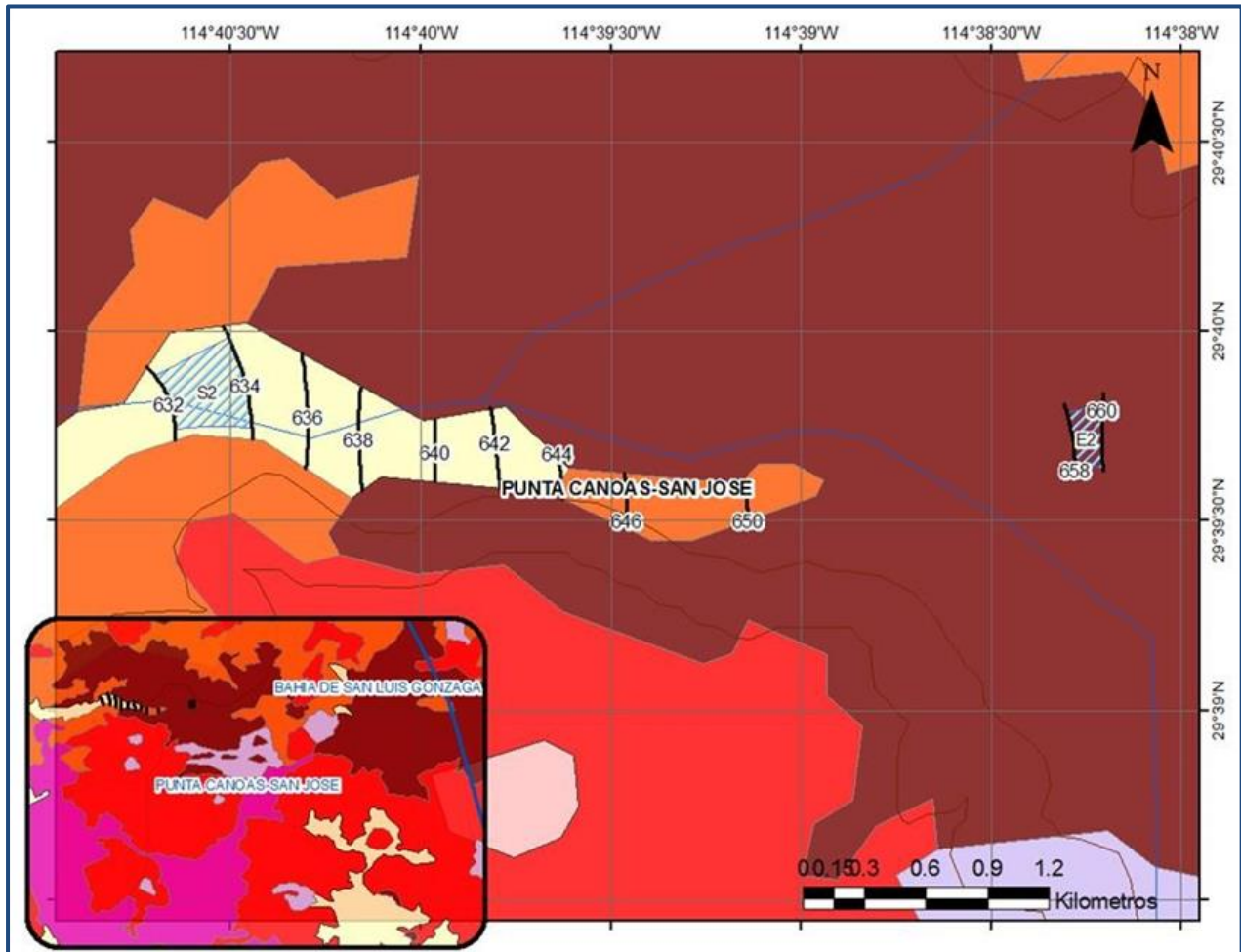


Figura 6. Elevación del nivel estático 2008 Área de explotación 2

5.4.3 Evolución del nivel estático

Para este acuífero se considera que la evolución del nivel estático es nula y que el acuífero se encuentra en equilibrio hidrodinámico.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Se realizó un recorrido en el mes de noviembre del 2008, con el fin de obtener los niveles piezométricos en algunos de los pozos localizados dentro del área acuífera para poder realizar un balance de aguas subterráneas y con ello determinar la disponibilidad de aguas subterráneas, en el recorrido piezométrico se tomaron además los parámetros de; CE y Temperatura, para determinar en forma burda la calidad del agua de los cuales se obtuvo que la Conductividad Eléctrica (CE) varía entre

2.0 y 2.26, (1200 a 1356 ppm aproximadamente), la temperatura (T°C) tomada es de 20.5° C.

Las menores concentraciones se localizan en la parte alta del acuífero, mientras que las mayores concentraciones de Sólidos Totales Disueltos se localizan hacia las partes cercanas a la costa. Considerando en general el agua es de buena calidad siendo utilizada para los diferentes usos, agrícola, domestico, industrial, pecuario.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

El Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) manifiesta la existencia de 31 aprovechamientos, tomando en cuenta los datos respecto al volumen concesionado dentro del acuífero se obtuvo que el 95.17% (514,236.8 m³) para uso Agrícola, el 2.46% (13, 292.2 m³) del volumen es para uso Pecuario, el 1.21% (6538m³) para uso Público Urbano y 1.15% (6213.8m³) para uso doméstico dando como resultado una extracción total de **0.5 hm³** de agua.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el año 2008, en una superficie de 2.79 km². Esta área se dividió en dos regiones ligeramente diferentes una de otra; región norte (área de explotación), comprendida cerca al poblado de Santa Inés y la estribación sur oriental del cerro Santa Inés en donde el comportamiento del agua lleva un movimiento noroeste-suroeste a diferencia de la porción en las estribaciones orientales de la sierra Columbia y en la porción sur donde se localiza el poblado El Alacrán y Los Cirios en donde el movimiento es este-oeste, motivo por el cual se subdividió, en zona norte y sur, está comprendida entre las estribaciones orientales del cerro Columbia al oriente y Mesa San Ignacito esto hacia el sur de las dos áreas de balance mismas que se utilizan debido a que corresponden 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:

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

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:

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

Donde:

R_v : Recarga Vertical

E_h : Entradas por flujo horizontal B: Bombeo

Sh : Salidas por flujo horizontal ETR: Evapotranspiración real

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área 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.

Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2008, mostrada en la figura 5 y 6. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

T = Transmisividad (m^2/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

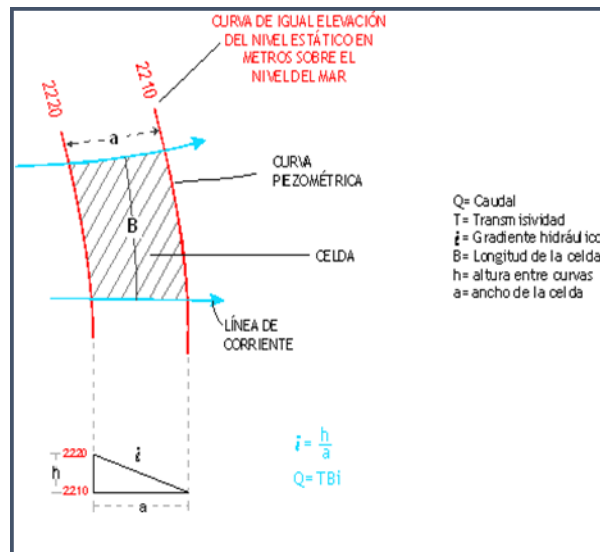


Tabla 2. Entrada por flujo subterráneo 2008

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	205	200	2	0.0107	0.003	0.0071	0.220
E1	215	210	2	0.0137	0.001	0.0015	0.048
TOTAL							0.27

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el área de explotación 1 en el año 2008 es de 0.228 hm^3 mientras que para el área de explotación 2 se obtuvo un volumen de 0.048 hm^3 en el mismo año. Con estos valores, se determinó que para el año 2008, el volumen total de entrada es de **0.3 hm^3 al año**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR).

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

El método de Evapotranspiración empleado para el balance de este estudio se tomo 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 evapotraspirado, 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) figura 7. En la tabla 5 se muestran los porcentajes respecto al volumen evaporado para las profundidades de 100, 200 y 300 cm, para el año de balance 2008.

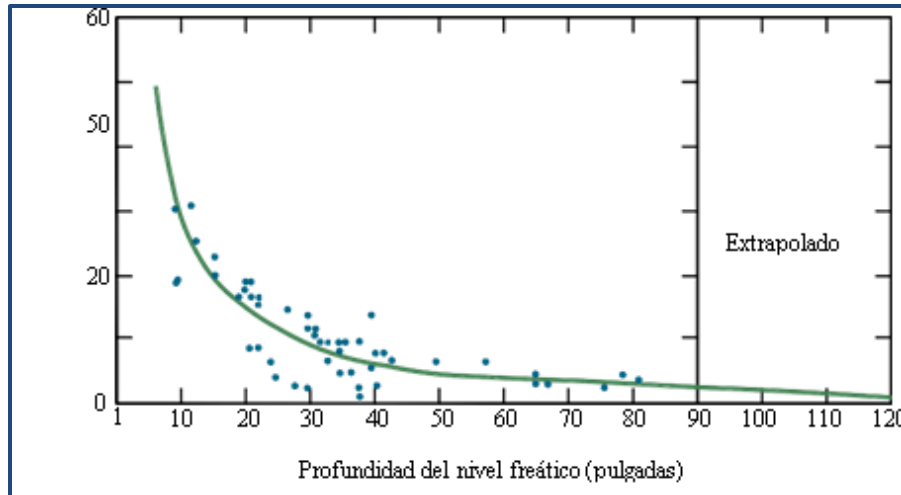


Figura 7. Evaporación del agua Subterránea expresada en % como una función de la profundidad y del nivel freático (según White)

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 1,989mm para 2008 este valor se tomo de un promedio estimado de acuerdo a los años en que existe información, para las 2 áreas de balance, con estos valores se obtuvo una lámina evaporada en el año de acuerdo a la profundidad media al nivel estático (100, 200 y 300 cm), multiplicando finalmente por el área susceptible a la evaporación respecto a cada área de análisis se obtuvo un volumen anual evapotranspirado; para el área de explotación 1 de 0.082 hm³ y para el área de explotación 2 un volumen de 0.0056 hm³ (Tabla 4). La evapotranspiración total es de **0.1 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 estatico (cm)	% de evaporación	Lámina Evaporada	Lámina Evaporada	Área	Volumen evapotranspirado	Total Volumen
	(estimado grafica de White)	en el acuífero (mm/año)	en el acuífero de acuerdo a la profundidad (mm/día)		(km ²)	(hm ³ /año)
						(hm ³ /año)
ÁREA DE EXPLOTACIÓN 1 (2008)						
100	6.25	2,306.00	0.39	0.4	0.062	
200	3.75	2,306.00	0.24	0.18	0.016	
300	0.92	2,306.00	0.06	0.19	0.004	
						0.082
ÁREA DE EXPLOTACIÓN 1 (2008)						
100	6.25	2,306.00	0.39	0	0	
200	3.75	2,306.00	0.24	0.05	0.0043	
300	0.92	2,306.00	0.06	0.06	0.0013	
						0.0056

7.2.2 Bombeo (B)

Esta componente se determinó de acuerdo al volumen reportado por el Registro Público de derechos de Agua (REPDA) el cual es de **0.5 hm³ al año**.

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

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

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	90	90	2	0.0115	0.002	0.0022	0.07
S1	350	250	2	0.0064	0.001	0.0016	0.05
TOTAL							0.12

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Sh) para el año 2008 es de 0.077 hm³ para el área 1 mientras que para el área 2 se obtuvo un volumen de 0.051

hm³. Con estos valores, se determinó que para el acuífero en las dos áreas de explotación consideradas para el 2008, el volumen total de salida es de **0.1 hm³**.

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

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 anterior en cuanto a las elevaciones del nivel estático 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 e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

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

$$R_v = 0.1 + 0.5 + 0.1 - 0.0 - 0.3$$

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

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

$$R = R_v + Eh$$

$$R = 0.4 + 0.3$$

$$R = 0.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8 DISPONIBILIDAD

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

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

Donde:

DMA =	Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero
R =	Recarga total media anual
DNC =	Descarga natural comprometida
VEAS =	Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **0.7 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, el volumen considerado como descarga natural comprometida es de **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 **530,426 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 0.7 - 0.0 - 0.530426 \\ \text{DMA} &= 0.169574 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **169,574 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.

Comisión Nacional del Agua. 2007. Estadísticas del Agua en México.

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