



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LOS MÉDANOS (0204), 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.....	5
3.1	Provincia fisiográfica	5
3.2	Clima.....	6
3.3	Hidrografía.....	6
3.4	Geomorfología	6
4	GEOLOGÍA.....	7
4.1	Estratigrafía.....	7
4.2	Geología estructural.....	9
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	12
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	12
5.4.2	Elevación del nivel estático	13
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	14
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	14
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	15
7.1	Entradas	15
7.1.1	Recarga vertical (Rv)	16
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	16
7.2	Salidas.....	18
7.2.1	Evapotranspiración (ETR)	18
7.2.2	Bombeo (B).....	20
7.2.3	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	20
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	20
8	DISPONIBILIDAD	21
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 Los Médanos, definido con la clave 0204 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroeste del estado de Baja California, tiene una superficie aproximada de 110 km².

Colinda al norte con los acuíferos El Rosarito, Tijuana y Las Palmas, al sureste con el acuífero El Descanso y al suroeste con el Océano Pacífico (Figura 1). Geopolíticamente

se encuentra ubicado en los municipios Playas de Rosarito y Tijuana. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

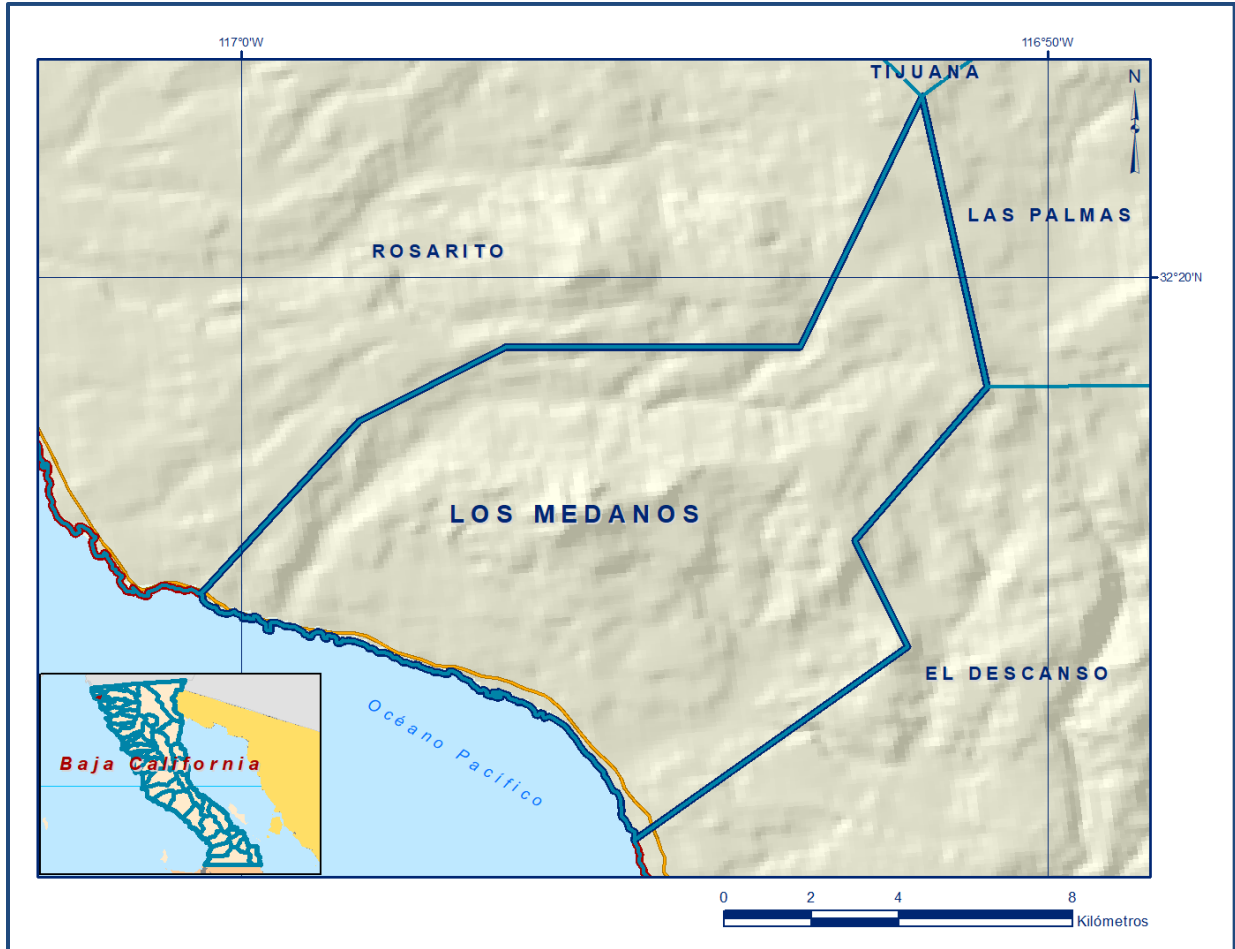


Figura 1. Localización del acuífero

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca I “Península de Baja California”. 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 (DOF) el 15 de mayo de 1960. Este decreto es de tipo III que permiten extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Tabla 1. Coordenadas de la Poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0204 LOS MEDANOS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	117	0	30.0	32	16	5.2	
2	116	58	32.9	32	18	13.3	
3	116	56	43.4	32	19	8.7	
4	116	53	4.6	32	19	8.7	
5	116	51	34.2	32	22	14.7	
6	116	50	45.3	32	18	38.9	
7	116	52	24.0	32	16	44.6	
8	116	51	44.6	32	15	26.2	
9	116	55	7.7	32	13	2.4	DEL 9 AL 1 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
1	117	0	30.0	32	16	5.2	

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

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS VALLES EL MÉDANO Y EL DESCANSO, EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA NORTE. Elaborado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. en 1979. En este estudio se identificaron 3 unidades geohidrológicas que se agruparon en baja media y alta permeabilidad.

En la recolección de datos para análisis fisicoquímicos (11 muestras) se determinó que el agua por el contenido de sales disueltas era de tipo mixto-clorurada para el valle. Los valores de contenido de sólidos totales disueltos eran en general menores de 1,000 ppm.

El potencial estimado para este año en el valle de Los Médanos fue de $2.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. La comparación de extracción total, con recarga vertical promedio mostraba la sobreexplotación en el valle.

Se realizó un censo de aprovechamientos de agua subterránea en el que se reportó un total de 21 obras de las cuales 7 estaban inactivas. Respecto a la profundidad del nivel estático fue de 0.30 m hasta 14.50 m, predominando los valores de 3 a 5m. La elevación del nivel estático en el valle era de 1.68 a 23.12 msnm., las configuraciones de las curvas en los meses de octubre y noviembre de 1979, indicaban un incipiente cono de abatimiento en el centro del valle.

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.

Elaborado por la Universidad Autónoma de Baja California en 2005. Mediante este estudio fue posible obtener el escurrimiento de las cuencas para determinar su disponibilidad median anual de agua superficial.

ESTUDIO TÉCNICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN 20 ACUÍFEROS DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.

Elaborado por la empresa Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V. en 2008. 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

Según Raisz, 1964, el área se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica Sierras de Baja California, perteneciente a la provincia fisiográfica de Baja California, siendo ésta la mayor de las tres que constituyen la provincia de la Península de Baja California, corresponde casi al 80% del área total del estado, incluye al municipio de Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y Ensenada.

Se caracteriza porque a partir de la frontera con los Estados Unidos y hacia el Sur, las unidades orográficas son las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir. En éstas dos Sierras se localizan las unidades morfológicas más elevadas con un máximo de 2,828 msnm en el Picacho del Diablo o Cerro La Encantada, que está ubicado en la Sierra de Juárez.

Las cimas han sido descritas como de "mesa corrugada", de relieve poco o moderadamente pronunciado y con pendientes secundarias que se levantan de 150 a 300 m sobre el piso elevado.

La cresta Occidental es uniforme y la Oriental es algo irregular, especialmente en la zona de La Encantada. En las cumbres de la sierra de San Pedro Mártir, cuyas altitudes disminuyen poco a poco hacia el sur, hay pendientes, valles y algunas praderas intermontanas.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación climatológica de Köppen, el acuífero presenta un clima que corresponde al tipo BSk, que es un clima mediterráneo de templado a seco, con lluvias en invierno; es común entre las costas del norte del estado de Baja California y en la costa sur del estado de California.

De acuerdo a la estación de Tijuana, la temperatura media anual es de 16.4° C. La temperatura media de los meses más cálidos julio y agosto es de 23.9° C. El mes más frío es enero con una temperatura media de 7.2° C. La temperatura máxima observada es de 38.9° C y la mínima de -2.2° C.

La precipitación media anual es de 262 mm, el mes de mayor precipitación es enero con una precipitación media de 55.4 mm y el mes de menor precipitación es julio con 0.25 mm. El 87% del total de la precipitación ocurre en el período de noviembre a abril.

3.3 Hidrografía

El acuífero Los Médanos se localiza dentro de la Región Hidrológica 1, de las cuatro que integran el Estado de Baja California, denominada Baja California Norte, que comprende principalmente los ríos Tijuana y Tecate que desembocan en el Océano Pacífico.

3.4 Geomorfología

El área del acuífero de Los Médanos se caracteriza por presentar una mezcla de lomeríos, sistemas montañosos y cañones. Destacan las formaciones montañosas que corren al norte y este del acuífero. La primera compuesta por el cerro San Isidro que forma parte de la sierra del mismo nombre que se interna hacia los Estados Unidos de América. La otra formación corre paralelamente al sur de la carretera libre Tijuana-Tecate en donde destaca el cerro El Caramelo. La configuración topográfica más compleja se observa al sur del área donde se mezclan los lomeríos, cañones como La Presa, El Americano y Los Palos a través de los cuales corren los arroyos que alimentan a la presa Abelardo L. Rodríguez.

En el extremo sur, destacan las cañadas Rosarito, El Aguajito, Los Alisos, que conducen arroyos que desembocan en el Océano Pacífico.

4 GEOLOGÍA

El área se ve afectada por el ramal noroeste de la falla geológica de Vallecitos y las fallas García y Agua Caliente que cruzan la ciudad de Tijuana afectando el lecho del Río Tijuana y la Presa Abelardo L. Rodríguez. Se localiza además en una de las tres regiones sísmicas del estado, denominada “Región Penisísmica” que comprende los municipios de Tijuana, Rosarito y Tecate, la parte central del municipio de Ensenada, así como la costa del Pacífico desde San Isidro hasta San Quintín.

La zona se caracteriza por presentar acantilados grandes y deslizamientos, algunos acantilados representan cabeceras de deslizamientos antiguos donde el nivel del terreno se ha desplazado. Los cantiles se han desarrollado preferentemente en sedimentos marinos del Cretácico superior preservados por derrames lávicos del Mioceno medio que los corona. (figura 2).

4.1 Estratigrafía

Formación Rosario (Kr): formada por paquetes de lutitas, areniscas y conglomerados con presencia de fósiles de origen continental y marino. Esta formación se presenta poco consolidada y así como el tectonismo poco marcado, se le encuentra descansando en discordancia angular a la formación Alisitos, formando el tercer cinturón (postbatolítico) y cuyo límite oriental es la denominada línea “Santillana Barrera”, que representa una línea de costa fluctuante que marca el límite de dos eventos tectónicos. Tiene un espesor aproximado de más de 750 m situado en el Maastrichtiano. Sus principales afloramientos se localizan sobre la costa del Pacífico.

Formación Rosarito Beach (Mi). Está constituida por intercalaciones de basaltos, tobas y brechas, aflora en las subcuencas de Rosarito y Tijuana, además se constituye por cinco miembros de la base (más antiguos) a la cima (recientes), corresponden a depósitos sedimentarios y volcánicos.

Base: predominan sedimentos de plataforma con intercalaciones delgadas de derrames basálticos con horizontes de toba.

Cima: compuesto principalmente por derrames de lava con intercalaciones de arenisca, toba y limonita.

Hiata: persistió hasta el Plioceno, dando lugar a depósitos de cuenca aislados. Los cuales forman dos unidades pertenecientes a la Formación San diego, constituida por dos miembros.

Miembro Inferior: formado por areniscas de finas a medias, con lentes de conglomerado, presenta una coloración amarillenta.

Miembro Superior: constituido por areniscas medias con intercalaciones de conglomerado, estos últimos de forma marcada y hacia la cima se presentan de forma más gruesa.

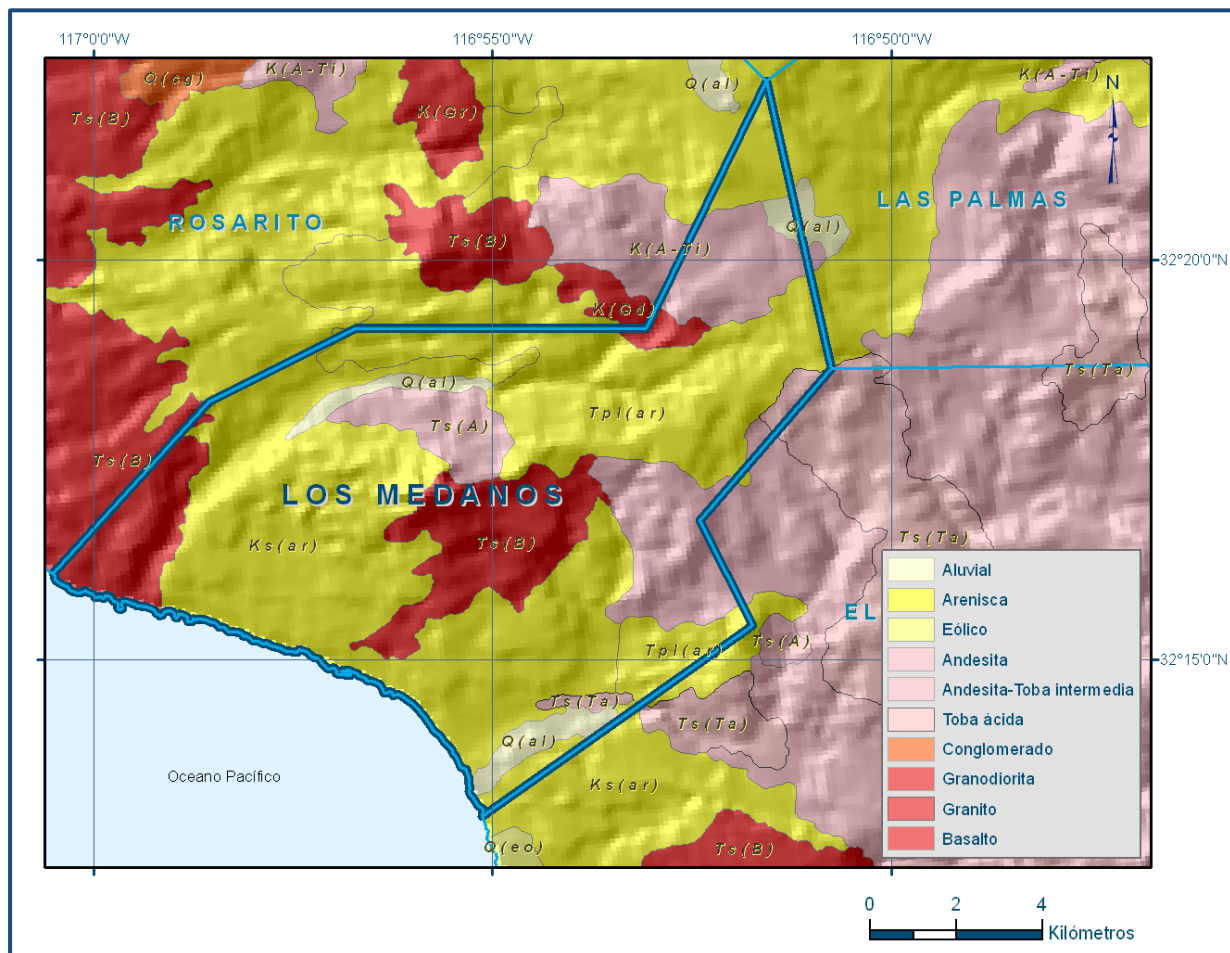


Figura 2. Geología general del acuífero

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.

Formación San Diego (Plc). Suprayace a la Formación Rosarito Beach y en discordancia a la Formación Linda Vista, está formada por conglomerados, con intercalaciones de arenisca de matriz café a rojiza, presenta además sedimentos fluviales depositados en los lechos de los ríos coluviales asociados a pendientes fuertes y aluviones debido a movimientos de ladera.

Miembro La Misión. Esta constituido generalmente de Basalto. La parte inferior está formada por basalto con textura vesicular porfírica de grano muy grueso cuyos cristales de plagioclasa se pueden apreciar sonados la laminación es común en algunos flujos y su espesor varía entre 75 y 100 m. Los flujos de basalto forman grandes mesetas de decenas de km² entre la franja costera entre Ensenada y Tijuana. En la parte Sureste existen pocos afloramientos de traquita color rosa coronando algunas lomas. En algunos derrames de basalto se observan diques de Arena emplazados en fracturas de 5 a 20 cm. de ancho, infiriendo que fueron emplazados por actividad hidrotermal y de presión local del cuerpo del basalto al depositarse sobre arenas saturadas con agua.

En el contacto entre las rocas sedimentarias y volcánicas existe una serie de tobas líticas, tobas pumicíticas y tobas arenosas de color rosa a blanco con un espesor de 10 a 200 cm., distribuidas en estratos irregulares los cuales siguen la topografía anterior y que han sido alteradas por los derrames de basalto.

4.2 Geología estructural

La zona que enmarca el acuífero se ubica en la porción poniente de la red de fallas de San Andrés, encontrándose las fallas de mayor actividad al oriente y poniente de dicha zona. Con lo anterior se puede inferir que la zona se encuentra sujeta a los movimientos de las placas provenientes tanto de temblores locales como distantes. La fuente sísmica dominante en el área la constituye la extensión extracostera de la falla del Cañón de la Rosa conocida como la falla o segmento del Descanso. Se observa que el movimiento de suelos de mayor magnitud se localiza cerca de la mancha

urbana de Rosarito debido a la proximidad de la Falla del Cañón de la Rosa, misma que se ubica en la costa mar adentro a una distancia aproximada de 1 km.

Las fallas de mayor proximidad al acuífero Los Médanos se encuentran en la franja de El Descanso con la falla del Cañón de la Rosa, hacia el poniente y la falla de Vallecitos San Miguel, hacia el suroeste, a distancias aproximadas de 1 y 10 km, respectivamente. Otras fallas localizadas a mayor distancia son el Banco de Coronado y las Zonas de Fallas y Hundimiento de San Diego ubicadas al poniente de la zona costera y la Zona de Fallas de Agua Blanca localizada hacia el sur. Además atraviesa la Falla de García ubicada aproximadamente a 3 km al oriente de la mancha urbana de Rosarito esta es una falla que corre en dirección norte y desplaza depósitos de la Era Terciaria, esta falla según cartografía histórica se encuentra cubierta por depósitos de la era Cuaternaria y no muestra evidencia geomórfica de movimientos recientes. Con base en las evaluaciones geológicas de la actividad de las fallas, éstas no se consideran activas.

4.3 Geología del subsuelo

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

Unidad impermeable: en esta unidad quedan agrupados las limolitas, areniscas y conglomerados. Las areniscas son de grano fino de color café rojizo, con intercalaciones de gravas sueltas, estas unidades funcionan como barreras laterales. También pertenecen a esta unidad las rocas ígneas extrusivas (riolitas, tobas riolíticas) y metamórficas (esquistos).

Unidad semipermeable: está constituida por materiales de tipo granular muy compactos a semicompactos, formados de fragmentos de rocas ígneas y sedimentarias. Otras rocas que constituyen esta unidad son los basaltos los cuales presentan una coloración grisácea intemperizado en color rojizo se observa además de forma masiva con un alto grado de fracturamiento, considerando así a estas rocas como de una permeabilidad media debido a los espacios huecos entre los derrames superpuestas, a la existencia de fracturas originadas por enfriamiento, y por las grietas producidas por la resistencia a la deformación plástica del flujo de lava solidificada.

Unidad permeable: está constituida por materiales granulares poco compactos de granulometría variada, predominantemente medios a finos y saturados derivados de

las sierras circundantes depositados en los lechos de los arroyos por las corrientes fluviales. Existen además depósitos de aluvión de composición granulométrica más gruesa en general el suelo del valle es de tipo limo-arenoso constituyendo un buen acuífero aunque de un espesor muy reducido de 0 a 200 m. Dentro de esta unidad están localizadas la mayoría de las captaciones perforadas en el valle.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la geología del subsuelo y la estratigrafía del área se trata de un **acuífero libre**. Esta unidad geomorfológica es típica de las mesas formadas por erosión de las capas horizontales de rocas sedimentarias o volcánicas y que son frecuentemente formas de relieve producidas por erosión. En la línea litoral se observa un drenaje superficial que esta canalizado por el barranco en la parte central de la propiedad hacia el cual fluyen las aguas pluviales de las laderas situadas al Norte y al Sur. Debido a las características de los materiales, no existe la presencia de un drenaje bien marcado, la escasa lluvia y la topografía del terreno lo impiden, como consecuencia las corrientes de agua que aquí se forman son de tipo intermitente.

5.2 Parámetros hidráulicos

A partir de una piezometría realizada en 1979, se registraron algunos datos de profundidad del nivel dinámico y gasto, los parámetros hidráulicos de acuerdo a las características litológicas obtenidas de las pruebas de bombeo y los parámetros estimados de acuerdo a las características son las siguientes (Tabla 2):

Tabla 2. Parámetros hidráulicos

CAN MP02		
Nivel Estático (NE)	7.53	m
Nivel Dinámico (ND)	10.3	m
Gasto (Q)	19	lps
Abatimiento	2.77	m
Gasto Especifico (Qe)	6.859	lps/m
Transmisividad (T)	6.86E-03	m ² /s
Espesor (b)	52	m
Permeabilidad (k)	1.32E-04	m/s
(k)	11.4	m/día

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento del acuífero únicamente se cuenta con información correspondiente al año 2008.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo a la configuración realizada con los datos obtenidos para el estudio para el año de análisis 2008 se observa que la profundidad varía entre 0 y 19 m, localizándose las mayores profundidades en la porción noreste del valle de Los Médanos, observándose así una variación gradual del nivel piezométrico hacia la costa, se puede observar que en la zona donde se encuentran concentrados los aprovechamientos existe una ligera profundización del nivel estático, sin embargo, a partir de este punto sigue una tendencia de descenso gradualmente (figura 3).

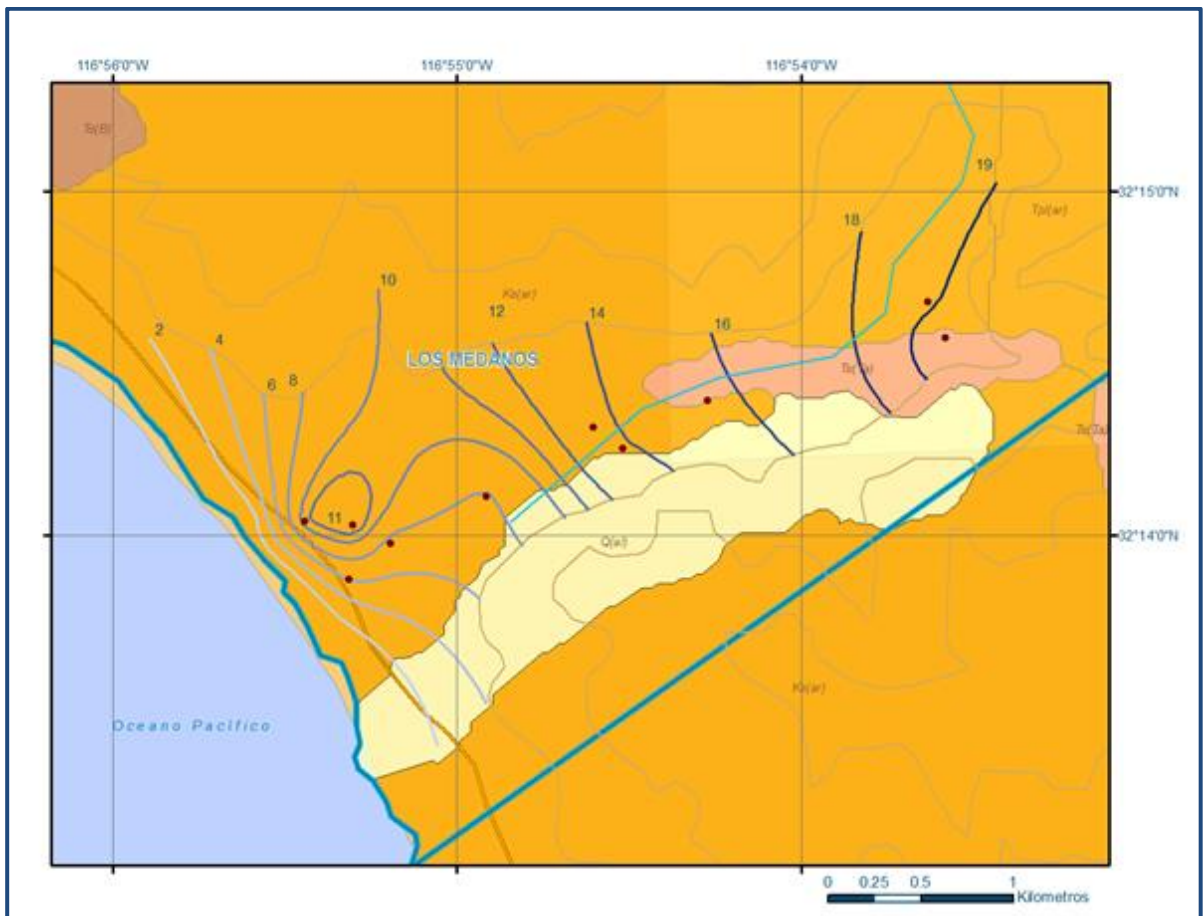


Figura 3. Profundidad al nivel estático 2008

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 movimiento de aguas subterráneas en dirección de las localidades donde la elevación de los niveles de saturación es menor, todo esto si no existen fronteras que impidan el flujo.

Para el acuífero Los Médanos las elevaciones reflejan que el flujo del agua en el subsuelo tiene semejanza con un posible flujo en condiciones naturales al flujo superficial, con dirección ligeramente de noreste a suroeste, originando entradas en las cañadas que se presentan en la zona siendo éstas las partes más altas y debido a su acomodo estructural se puede observar que la dirección del flujo es hacia el suroeste, donde las elevaciones disminuyen hasta llegar a la costa, por lo que se considera que hay una descarga de agua subterránea hacia el mar (figura 4). La configuración para el análisis en cuanto a la elevación del nivel estático, indica que hay una variación en el nivel del agua de 27 a 0 msnm, observándose que las mayores elevaciones se encuentran al noreste disminuyendo en forma gradual observándose además un comportamiento continuo en el flujo.

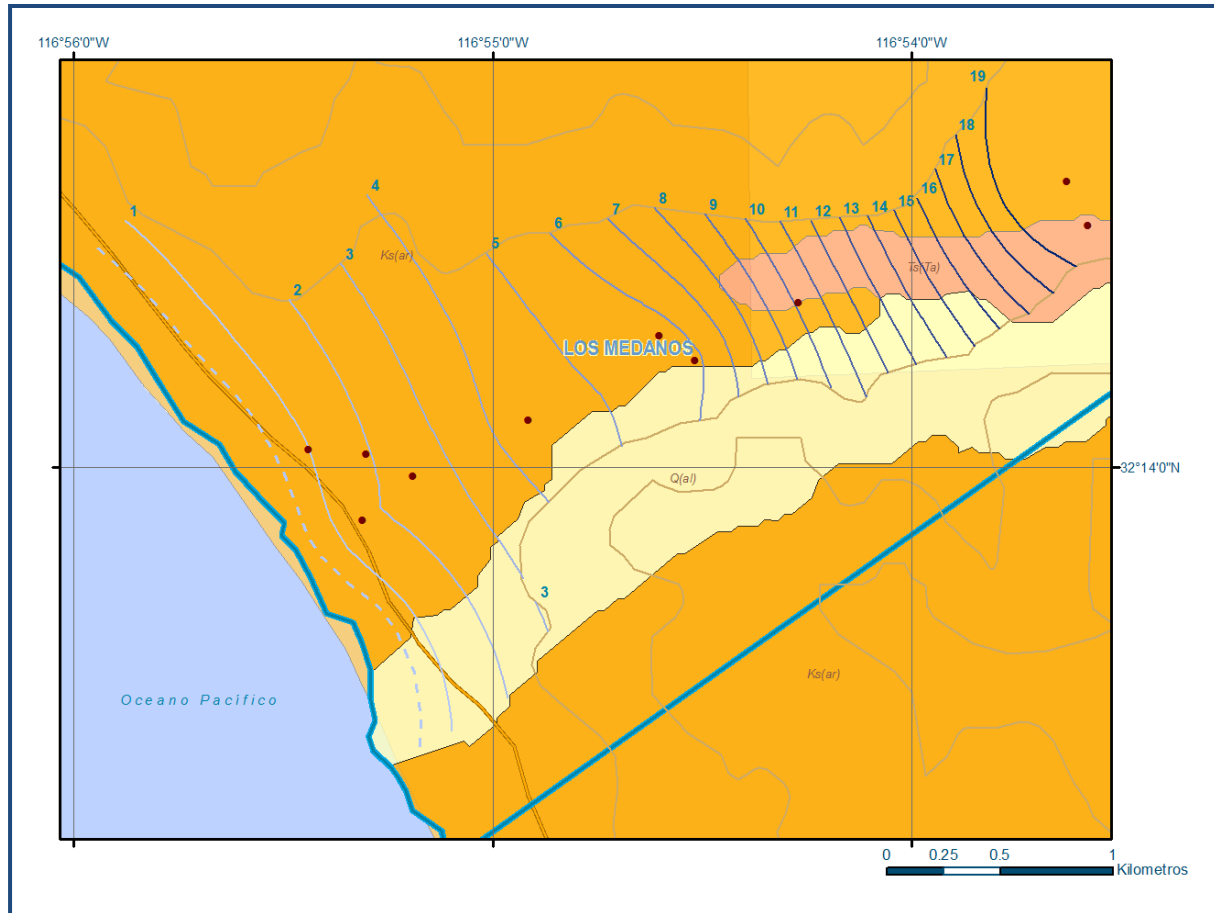


Figura 4. Elevación del nivel estático (2008)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Dentro de la zona del acuífero se determinaron cationes y aniones, el más abundante es el sodio con valores que van de 110 a 442 ppm y un promedio de 181 ppm, el calcio que va de 40 a 232 ppm, con un promedio de 122 ppm. Los sólidos totales disueltos van de 774 a 2 406 ppm. De los aniones predomina el cloruro que va de 248 a 838 ppm, con un promedio de 380 ppm, el bicarbonato el cual presenta de 98 a 390 ppm.

Concluyendo de lo anterior que el agua es de tipo sódico-clorurada o mixto-clorurada, lo que indica que ha tenido contacto con formaciones de origen marino, debido a la disolución de los minerales que contienen.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

La información de censos reporta la existencia de 21 aprovechamientos, 14 se encuentran activos y 7 inactivos. Los aprovechamientos activos se destinan: 11 para uso agrícola, 1 para agua potable y 2 para uso doméstico.

De acuerdo con el REPDA (Registro Público de Derechos de Agua) existe un volumen total concesionado de **724 402 m³**, de este volumen, 588 365 m³ (81.2%) son uso agrícola, 93 000 m³ (12.8%) uso público urbano, 31 583 m³ (4.4%) uso pecuario, 7 779 m³ (1.1%) para uso doméstico y 3 675 m³ (0.5%) uso servicios.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el año 2008, en una superficie de 5.3 km², que corresponde a la zona donde se tiene información piezométrica y en la que se localizan 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 (Rv) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

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 (Ri). 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 (Rv)

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:

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

Donde:

Rv: Recarga vertical

Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal

B: Bombeo

Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal

ETR: Evapotranspiración real

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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.

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 para el año 2008 (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:

$$A = B \cdot a$$

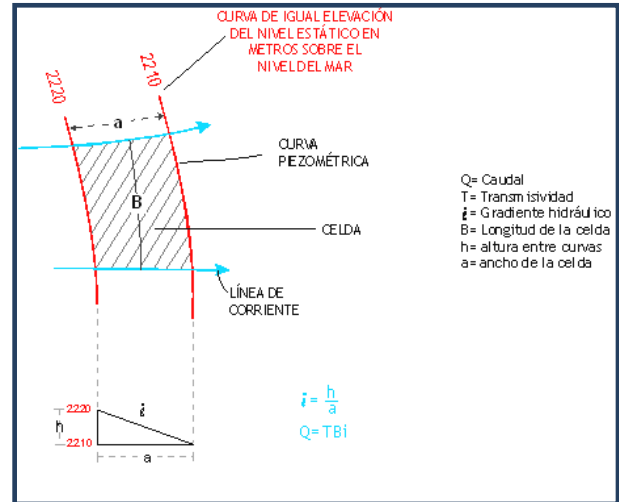
Mientras que la velocidad será:

$$V = K \cdot i$$

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.

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

Celda	T ($10^{-3} m^2/s$)	B ($10^3 m$)	i	Q (m^3 / s)	Volumen anual (hm^3)
ENTRADAS LATERALES					
E1	8.275	0.810	0.00640	0.0429	1.4

El cálculo de volumen total por flujo subterráneo horizontal (Eh) para el año de balance 2008 es de **1.4 hm^3** .

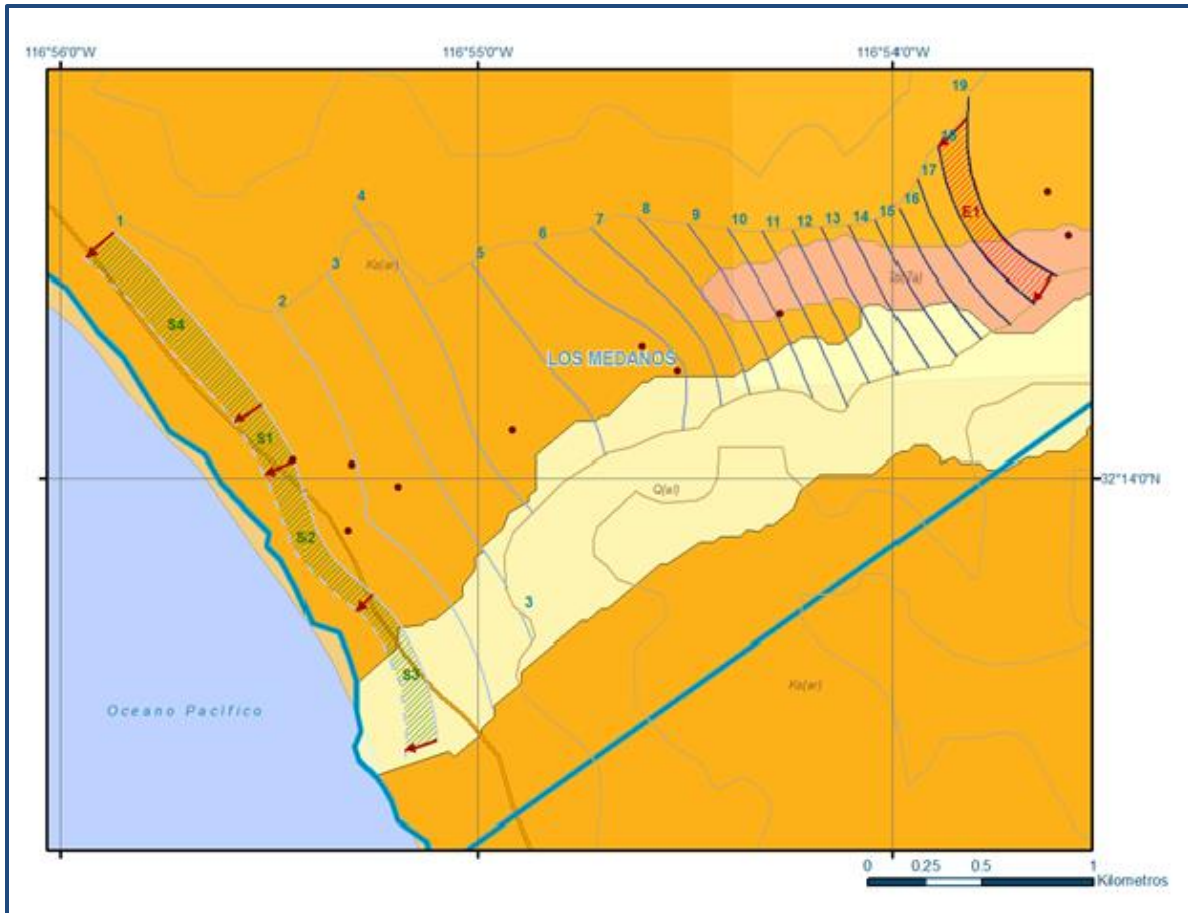


Figura 5. Red y celdas de flujo subterráneo

7.2 Salidas

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

7.2.1 Evapotranspiración (ETR)

El método de Evapotranspiración empleado para el balance de este estudio 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. 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 5. En la tabla 6 se muestran los porcentajes respecto al volumen evaporado para las profundidades de 100, 200 y 300 cm, para el año 2008.

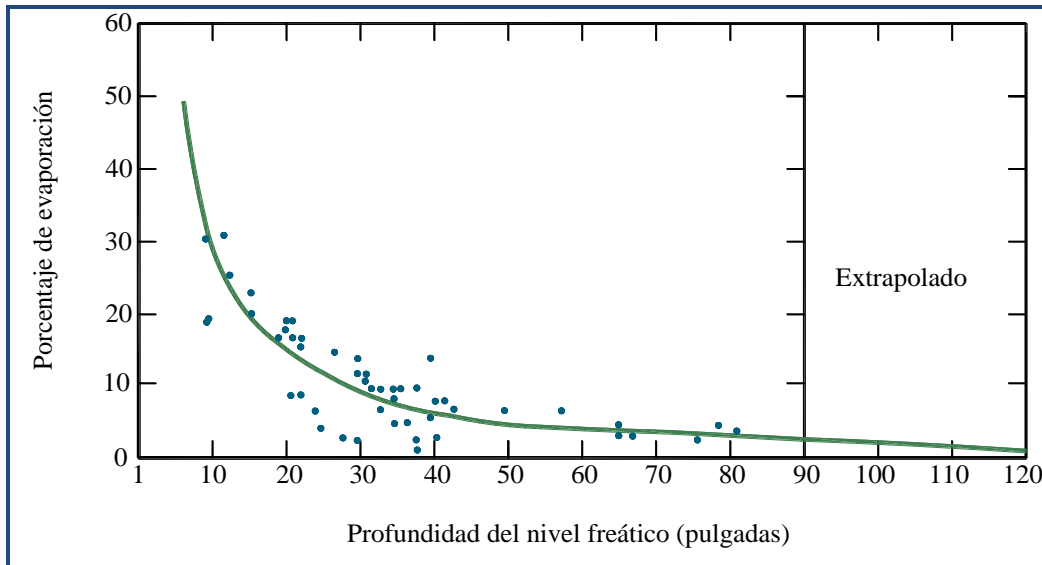


Figura 5. Evaporación del agua Subterránea expresada en %

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 1,470 mm para 2008 este valor se tomo de un promedio estimado de acuerdo a los años en que existe información (CONAGUA Gerencia Regional de Baja California), con estos valores se obtuvo una lámina evaporada para el año de análisis de acuerdo a la profundidad media al nivel estático (100, 200 y 300 cm), multiplicando finalmente por el área susceptible a la evaporación. Se considera como volumen anual evapotranspirado para 2008 de **0.04 hm³**.

Tabla 4. Volumen evapotranspirado

Prof. media al nivel estatico (cm)	% de evaporación (estimado 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 Evapotraspirado (hm ³ /año)
2008						
100	6.25	1,470	0.252	0.20	0.022	
200	3.75	1,470	0.151	0.24	0.013	
300	0.92	1,470	0.037	0.23	0.003	
						0.038

7.2.2 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo es de **0.7 hm³/año**.

7.2.3 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del NE presentada en la figura 5. El valor estimado es de **1.0 hm³ anuales**, tal como se muestra en la tabla 5.

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

Celda	T (10 ⁻³ m ² /s)	B (10 ³ m)	i	Q (m ³ /s)	Vol anual (hm ³)
SALIDAS LATERALES					
S ₁	3.472	0.930	0.0036	0.0117	0.370
S ₂	2.315	0.270	0.00391	0.0024	0.077
S ₃	2.315	0.685	0.00446	0.0071	0.223
S ₄	3.472	0.675	0.00442	0.0104	0.327
TOTAL					0.997

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔV_S)

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, es de esperar que no se registren alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo, ni conos de abatimiento.

Bajo estas condiciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por lo tanto para fines del balance de aguas subterráneas, $\Delta V = 0$

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:

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

$$R_v = 1.0 + 0.7 + 0.04 - 0.0 - 1.4$$

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

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

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 0.4 + 1.4$$

$$R = 1.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

En este sentido la descarga natural comprometida se considera como un porcentaje de las salidas subterráneas horizontales el cual se estimó en un 10% con un volumen de 0.1 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, además de que el acuífero se encuentra afectado naturalmente por intrusión marina, por lo que se propone controlar el bombeo dentro de la zona cercana a la costa manteniendo los niveles de agua dulce por arriba del nivel del mar, y así no incrementar la entrada de agua de mar hacia el área de explotación. Por lo tanto se considera que el volumen por descarga natural comprometida es de **DNC = 0.1 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 **1,049,690 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 1.8 - 0.1 - 1.049690 \\ \text{DMA} &= 0.650310 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe actualmente un volumen de **650,310 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, 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, elaborado por la empresa Sanx Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1979. Estudio Geohidrológico de los Valles “El Médano y El Descanso”, en el estado de Baja California Norte. Elaborado por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A.