CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO LAS VÍRGENES (0338), ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1 GENERALIDADES 2
Antecedentes 2
1.1 Localización 2
1.2 Situación administrativa del acuífero 4
2 FISIOGRAFÍA 5
2.1 Provincia fisiográfica 5
2.2 Clima 5
2.3 Hidrografía 6
2.4 Geomorfología 7
3 GEOLOGÍA 7
3.1 Estratigrafía 8
3.2 Geología estructural 10
3.3 Geología del subsuelo 10
4 HIDROGEOLOGÍA 11
4.1 Tipo de acuífero 11
5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 11
5.1 Entradas 12
5.1.1 Recarga Vertical (Rv) 12
5.2 Salidas 18
5.2.1 Bombeo (B) 18
6 DISPONIBILIDAD 18
6.1 Recarga total media anual (R) 19
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 19
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 19
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 20
7 BIBLIOGRAFÍA 21

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 Las Vírgenes, definido con la clave 0338 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción noreste del estado de Baja California Sur entre las coordenadas geográficas 27°18' y 27°49' de latitud norte y 113°1' y 112°18' de longitud oeste cubriendo una superficie de 1453.8 km^2.

Los límites con los acuíferos vecinos son: al sureste con el acuífero Santa Rosalía, del sur al suroeste con el acuífero San Ignacio al oeste con el acuífero Vizcaíno y al noroeste

con el acuífero Paralelo 28, del este al norte el límite es colindante con el golfo de California (figura 1).

Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0338 LAS VIRGENES

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	112	20	35.4	27	23	8.5	
2	112	25	8.7	27	18	26.6	
3	112	26	28.1	27	18	27.0	
4	112	28	59.6	27	18	54.9	
5	112	27	45.8	27	20	12.9	
6	112	30	18.7	27	22	3.1	
7	112	35	26.9	27	28	11.4	
8	112	40	41.5	27	31	58.1	
9	112	53	55.5	27	34	12.4	
10	112	57	10.1	27	32	48.3	
11	113	1	17.7	27	35	36.6	
12	112	59	58.6	27	37	27.7	
13	112	54	55.2	27	38	41.0	
14	112	53	16.2	27	42	16.2	
15	112	47	43.1	27	46	27.9	
16	112	43	2.3	27	48	48.2	DEL 16 AL 17 POR LA LINEA DE BAJAMAR A LO LARGO DE LA COSTA
17	112	18	12.6	27	23	42.1	
1	112	20	35.4	27	23	8.5	

Geopolíticamente, comprende parte de la superficie del municipio Mulegé. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Las Vírgenes pertenece al Organismos de Cuenca I “Península de Baja California”, al Consejo de Cuenca “Baja California Sur”, instalado el 03 de marzo de 2000, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Baja California Sur.

Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del “Acuerdo que establece el Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur, declarando de utilidad pública la construcción de las obras que lo forman”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 2 de julio de 1954. Este decreto es de tipo III, que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El uso principal del agua subterránea es el agrícola. No se han constituido ningún Distrito de Riego ni Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la regionalización fisiográfica del Sistema de Información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001), el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Península de Baja California, abarca la subprovincia Sierra de la Giganta.

La provincia Península de Baja California, ubicada en el noroeste de la República Mexicana, se extiende a lo largo de 1,333 km, con rumbo noroeste-sureste. Las mayores elevaciones, de 2000 a 3000 msnm, se encuentran en las sierras de la porción norte.

La subprovincia Sierra La Giganta es una cordillera montañosa orientada en dirección preferencial noroeste-sureste, que forma parte de la cordillera peninsular cuya topografía se caracteriza por presentar elevaciones máximas del orden de 800-1680. Está formada por rocas volcánicas de la Formación Comondú, dispuestas en forma de mesetas inclinadas hacia el Océano Pacifico y altas crestas hacia el Golfo de California. La Sierra La Giganta define el parteaguas en esta porción de la península de acuerdo con sus dimensiones y posición geográfica. Los escurrimientos forman una serie de cañones profundos los cuales drenan con una dirección preferencial hacia el occidente.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García, en 1981, con aportaciones del INEGI, para las condiciones particulares de la República Mexicana, en el acuífero, prevalece el clima semiseco templado Muy seco semicálido BWhw(x') y el Muy seco cálido BW(h')hw(x'). Los climas B son climas secos, las condiciones de temperatura que los caracterizan son diversas, hay climas secos muy calidos y otros que llegan incluso a semifríos, la W indica que entre los climas secos estos son los más secos, incluso desérticos, la h indica un clima semicálido con invierno fresco con temperatura media anual mayor de 18°C y la temperatura del mes más frio es menor a 18°C, la (h') indica un clima muy cálido, con temperatura media anual mayor a 18°C y el mes más frio con temperatura mayor a 18°C, por último la w(x')

Usando el método de isolíneas con la información de temperatura y precipitación media anual obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:1,000,000, se calcularon los promedios anuales los cuales son **20.8°C** y **136.0 mm**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica número 5 Baja California Centro-Este, y forma parte de la cuenca Las Vírgenes, así como una pequeña parte de la cuenca Paralelo 28 y Santa Rosalía.

La cuenca hidrológica Las Vírgenes, tiene una superficie de aportación de 1,471.9 kilómetros cuadrados y se encuentra delimitada al Norte por la cuenca hidrológica Paralelo 28, al Este por el Mar de Cortés, al Sur por las cuencas hidrológicas San Ignacio y Santa Rosalía, y al Oeste por las cuencas hidrológicas Vizcaíno y San Ignacio, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2011. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de 13.862 millones de metros cúbicos de acuerdo a lo publicado en el DOF el 08 de marzo del 2016.

La cuenca hidrológica Paralelo 28, tiene una superficie de aportación de 880.2 kilómetros cuadrados y se encuentra delimitada al Norte por la cuenca hidrológica El Infiernito, al Este por el Mar de Cortés, al Sur por la cuenca hidrológica Las Vírgenes y al Oeste por la cuenca hidrológica Vizcaíno, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2011. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de 10.102 millones de metros cúbicos de acuerdo a lo publicado en el DOF el 08 de marzo del 2016.

La cuenca hidrológica Santa Rosalía, tiene una superficie de aportación de 152.7 kilómetros cuadrados y se encuentra delimitada al Norte por la cuenca hidrológica Las Vírgenes, al Este por el Mar de Cortés, al Sur por la cuenca hidrológica Santa Agueda, y al Oeste por las cuencas hidrológicas San Ignacio y Las Vírgenes, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2011. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de 0.522 millones de metros cúbicos de acuerdo a lo publicado en el DOF el 08 de marzo del 2016.

Debido al clima desértico, la región se caracteriza por presentar condiciones de régimen de lluvias en verano con valores bajos de precipitación y escasez natural de agua. Los escurrimientos superficiales son de tipo intermitente que generalmente desaparecen por infiltración hacia el valle aluvial y la planicie costera.

Los escurrimientos superficiales únicamente ocurren durante la temporada de lluvias. Dentro del acuífero se puede observar una gran cantidad de ríos como: San Jorge, Palo

Blanco, Los Seis Enjambres, La Sierra, Los Amargos, entre otros, localmente forman un patrón de tipo dendrítico; sin embargo, se cuenta con un río principal llamado El Carrizo.

2.4 Geomorfología

Los rasgos morfológicos en el área de estudio denotan un estado geomorfológico de madurez temprana, en el que destacan las sierras constituidas por rocas volcánicas erosionadas de la Formación Comondú, con desnivel de más de 1,400m y fuertes pendientes que terminan en acantilados sobre el Golfo de California.

La red de drenaje característico es de tipo dendrítico con causes generalmente profundos en la zona serrana. De manera particular, en el área de estudio se distinguen unidades geomorfológicas clasificadas como Sierras Altas, Sierras Bajas, Bajadas con Lomeríos, pequeña Llanura aluvial, meseta basáltica y Lomerío tendido con llanuras.

3 GEOLOGÍA

Litológicamente la zona está constituida, por una diversidad de tipos de rocas, entre las cuales predominan rocas ígneas extrusivas como la brecha volcánica intermedia, el basalto, andesitas, afloramientos de tobas ácidas, cuyas rocas se caracterizan por ser permeables. En la parte norte, centro y sureste hay presencia de rocas sedimentarias, entre las cuales encontramos conglomerados y suelos aluviales.

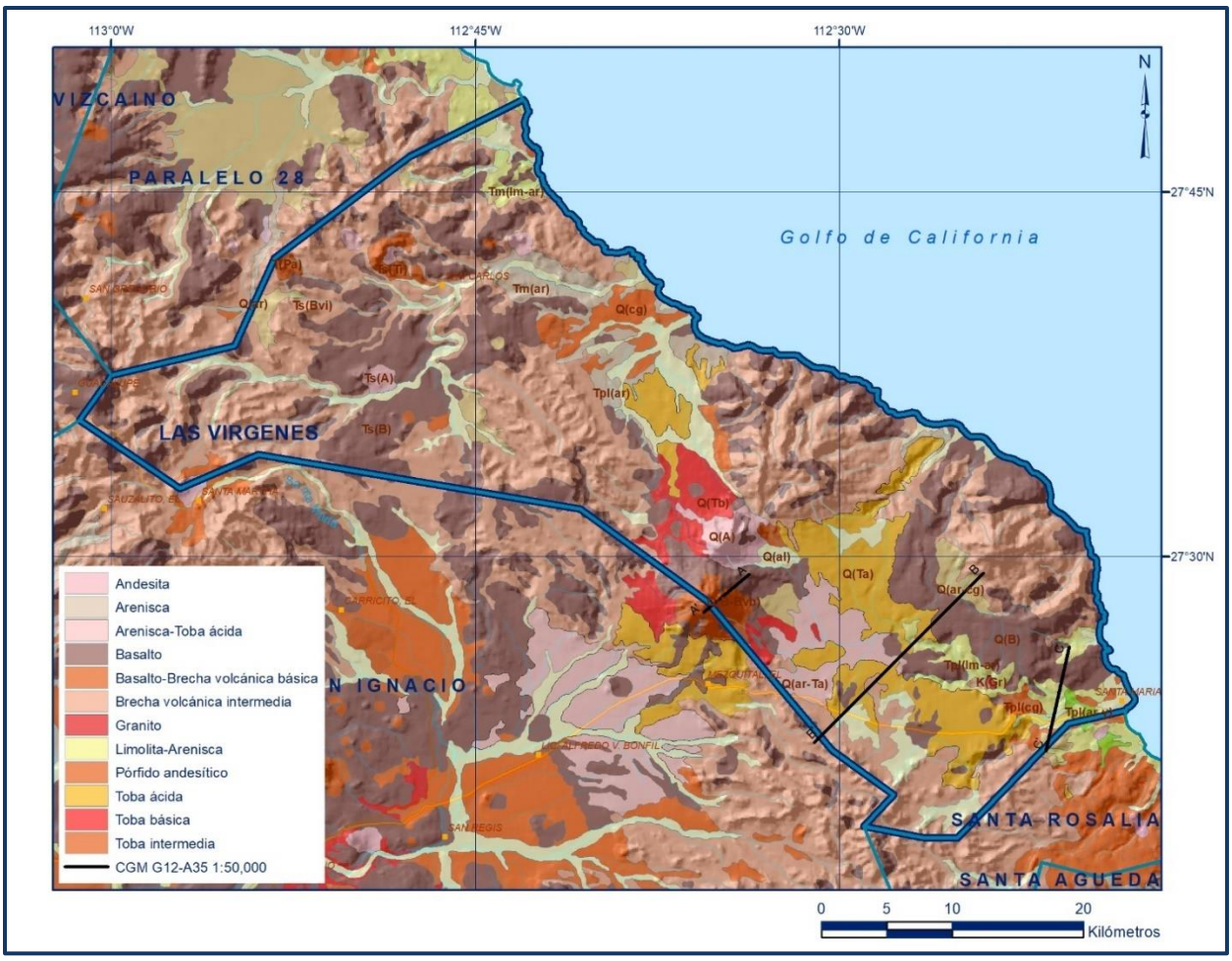


Figura 2. Geología general de acuífero

3.1 Estratigrafía

MESOZOICO

Cretácico inferior

Granito-pórfidos

Las rocas más antiguas que afloran en el área cubierta por el acuífero pertenecen al Cretácico Inferior representado por un granito que aflora en ventanas erosionales, así como depósitos discordantes de pórfidos dacíticos y riodacíticos.

OLIGOCENO

Formación Salto

Posteriormente se depositó la formación El Salto esta formación está compuesta por capas de arenisca bien clasificada con estratificación cruzada, conglomerados y tobas cuarzosas, podemos observar afloramientos en la porción centro oriental de Baja

California Sur. Esta unidad tiene su origen en un ambiente continental, los conglomerados corresponden a depósitos de abanico aluvial, mientras que las areniscas representan un ambiente eólico.

MIOCENO

Formación Comondú

La Formación Comondú aflora formando la Sierra La Giganta cuyo origen se asocia a un arco volcánico del Oligoceno-Mioceno (Heim Arnold, 1922). Las rocas que constituyen esta unidad tienen una estratificación compleja compuesta por una alternancia de materiales volcánicos y sedimentarios que incluye areniscas, conglomerados, brechas volcánicas, andesitas y tobas. Las areniscas se presentan bien consolidadas y compactas, en tanto que los conglomerados están constituidos por fragmentos redondeados, de origen ígneo, empacados en arenas. Ambas litologías se encuentran intrusionadas por diques de composición intermedia y básica. Las brechas que están constituidas por una mezcla de fragmentos, empacadas en una matriz tobácea, intrusionadas por diques.

Formación El Boleo

Representan las rocas más antiguas que conforman el relleno sedimentario de la cuenca. La unidad fue descrita inicialmente por Wilson en 1984 en honor al distrito minero cuprífero El Boleo. Esta formación se ha dividido en 3 unidades principales: Miembro Calizas, Miembro Yeso y Miembro Clástico (Ortlieb, 1984).

La primera de estas y la más basal se encuentra conformada por capas delgadas de calizas en algunas comunidades fosilíferas cuya coloración va de gris a rojizo. La unidad sobreyace a la Formación Comondú conformando un contacto discordante erosivo. El Miembro Yeso, que se encuentra sobreyaciendo al Miembro Calizas, está constituido por estratos de yeso de coloración blanca a rojiza entre los cuales se encuentran también alternadas algunas capas de rocas clásticas. Por último, el Miembro Clástico, que ha sido muy estudiado debido a su contenido de cobre.

Pleistoceno

Grupo Tres Vírgenes

Consiste principalmente de flujos de lava y capas piroclásticas que cubren extensas áreas sobre las mesetas compuesto de tres volcanes alineados en dirección NE-SW, El Viejo. El Azufre y La Virgen. Está expuesta en una mesa plana con una longitud de

1400 metros y un ancho de 300 a 400 metros.

3.2 Geología estructural

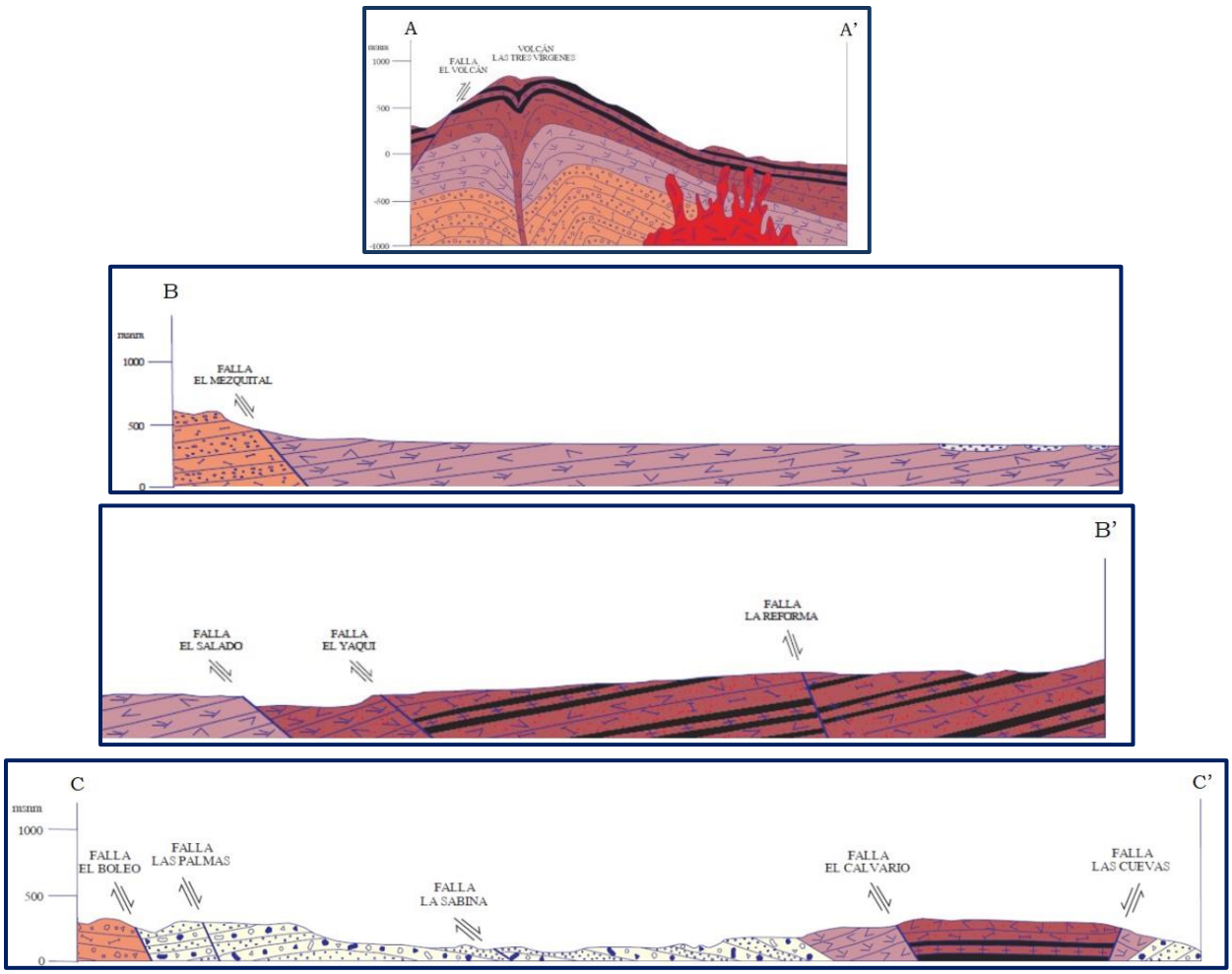
El área del acuífero tiene un comportamiento de forma de bloques escalonados con sensibles basculamientos provocados por fallamiento y por la presencia de intrusivos o cuellos volcánicos. Estos se localizan alineados paralelamente a las fallas regionales, las cuales tienen un componente lateral, lo que hace suponer una relación con la apertura del Golfo de California.

En la región sólo se presenta deformación dúctil, representada por fallas normales y laterales, evidenciadas en la granodiorita del Cenozoico Plioceno y las unidades de composición andesítica, riolítica y basaltos del Mioceno superior al Pleistoceno. Las fallas normales, presentan orientación al NW, formando una serie de fosas-pilares y bloques escalonados con franco basculamiento al NE. Las fallas laterales, están representadas por una serie de estructuras transformantes orientadas al NE, y en conjunto forman un sistema estructural de fosas y pilares con acomodo tipo pull apart.

Las estructuras que destacan son la Caldera El Aguajillo y La Reforma, ubicadas en el extremo oriental del Volcán Las Vírgenes. A partir de estudios gravimétricos realizados en el área de Tres Vírgenes, se interpretó que el complejo volcánico se encuentra dentro de un graben regional con dallas escalonadas de dirección NE-SW.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología y los cortes litológicos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido en su porción superior, en algunas zonas, por conglomerados, areniscas y calizas de la Formación El Boleo, así como depósitos de coluvión constituidos por fragmentos angulosos de andesitas, riolitas, calizas, arenisca y granodiorita y material aluvial, mientras que en otras partes del acuífero, se encuentra constituido por pumicitas, basaltos, tobas riodacíticas y brechas volcánicas. La porción inferior se encuentra constituida por un paquete de rocas ígneas extrusivas de composición de intermedia a ácida del Grupo Volcánico Comondú, así como por intrusiones de granodiorita. Todas estas rocas presentan fracturamiento.



Fuente: Carta Geológico-Minera G12-A35 "Santa Agueda". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4 HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica del subsuelo descrita anteriormente, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre** debido al fracturamiento de las rocas ígneas y material aluvial.

5 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Debido a la poca información piezométrica actual e histórica en la superficie que cubre el acuífero y a que se encuentra dispersa en espacio y tiempo; hace imposible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas tradicional. Por lo tanto, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en el área de balance de **1,409.3 km²** del

acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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 la masa es la siguiente:

Entradas (E) - Salidas (S) = 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 del acuífero:

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamiento

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Las Vírgenes están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

5.1.1 Recarga vertical (Rv)

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie de balance del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)$$

Donde:

V_{LL} = Volumen de lluvia;
V_{ETR} = Volumen evapotranspirado;
V_{ESC} = Volumen escurrido;
V_{INF} = Volumen infiltrado;

Por lo tanto, despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (1,409.3 km^2) por la lámina de precipitación media anual (136.0 mm):

V_{LL} = 1,409.3 km^2 (0.136 m) = 191.7 hm^3 anuales

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando el valor medio anual de precipitación de 136.0 mm y temperatura de 20.8°C.

Coutagne propuso la siguiente expresión para el cálculo de la evapotranspiración real:

COUTAGNE $ETR = P - \chi P^2$

Donde:
ETR= Evapotranspiración m/año
P = precipitación en m/año
$\chi = 1/(0.8 + 0.14\ t)$
t = temperatura en ºC

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por: ETR = 0.20 + 0.035 T. Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 131.0 m anuales; por lo que el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

V_{ETR} = 1,409.3 km^2 (0.131) = 184.6 hm^3 anuales

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 27 de marzo del 2015, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento. El volumen anual medio de escurrimiento

natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la normatividad establece la siguiente relación:

VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA	**=**	**PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA**	*****	**AREA DE LA CUENCA**	*****	**COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO**

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que, en la cuenca en estudio, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si *K* resulta menor o igual que 0.15	$Ce = K\,(P-250) / 2000$
Si *K* es mayor que 0.15	$Ce = K\,(P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5$

Donde:

P = Precipitación anual;
Ce = Coeficiente de escurrimiento anual;
K = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3

TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

De acuerdo con la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), escala 1: 1,000,000 en la zona que comprende el acuífero Las Vírgenes, predominan los siguientes tipos de suelo: Feozem, Fluvisol, Litosol, Solonchack, Regosol y Yermosol, los cuales se clasificaron en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

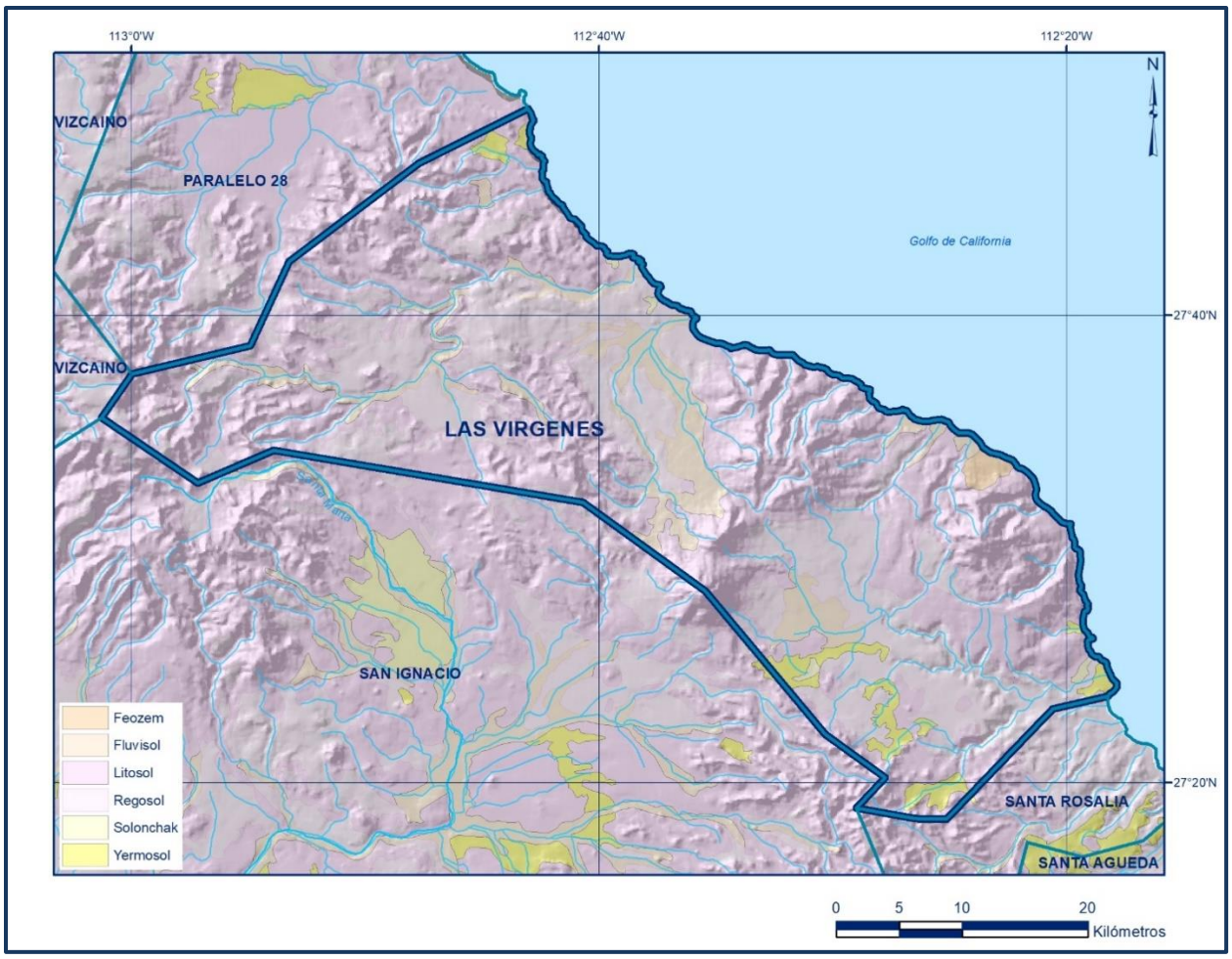


Figura 4. Tipo de suelo

En cuanto al uso de suelo, de acuerdo con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1: 250,000, en el área donde se localiza el acuífero hay al menos cinco usos de suelo diferentes: bosque, cuerpos de agua, matorral, otros tipos y sin vegetación aparente (figura 5).

Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.18, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce= K (P-250)/2000) + (K-0.15)/1.5$$

Ce = 0.013

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al volumen de lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.013\ (191.7\ hm^3) = 2.4\ hm^3\ anuales}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 191.7 - 184.6 - 2.4}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 4.7\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es 191.7 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0245.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 4.7 hm^3/año en la superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv =4.7 hm^3 anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:
La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración, pero no se cuenta información piezométrica para su estimación.

5.2.1 Bombeo (B)

De acuerdo con los datos reportados por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), se tiene registrado un volumen de extracción de **3.2 hm^3 anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

6 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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	=	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	-	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	-	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

6.1 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 **4.7 hm³ anuales**, todos ellos son de recarga natural.

6.2 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 el caso del acuífero Las Vírgenes no existe descarga natural comprometida **DNC = 0 hm³.**

6.3 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 **3,278,130 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 **30 de diciembre del 2022.**

6.4 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.

DMA = R – DNC – VEAS
DMA = 4.7 – 0.0 – 3.278130
DMA = 1.421870 hm³ anuales

El resultado indica que existe un volumen disponible de **1,421,870 m³ anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7 BIBLIOGRAFÍA

Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA), 2020, Regiones Hidrológicas, Cuencas, Ríos Principales; 2018-2019, Distritos de Riego; 2010, Regiones Hidrológico-Administrativas, Distritos de Riego.