CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO MASCOTA (1442), ESTADO DE JALISCO

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 5
2.4 Geomorfología 6
3. GEOLOGÍA 7
3.1 Estratigrafía 7
3.2 Geología estructural 10
3.3 Geología del subsuelo 12
4. HIDROGEOLOGÍA 13
4.1 Tipo de acuífero 13
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 14
5.1 Entradas 14
5.1.1 Recarga vertical (Rv) 14
5.2 Salidas 21
5.2.1 Bombeo (B) 21
5.2.2 Descarga por flujo base (Dfb) 21
6. DISPONIBILIDAD 21
6.1 Recarga total media anual (R) 22
6.2 Descarga natural comprometida (DNC) 22
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 22
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 23
7. 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 Mascota, definido con la clave 1442 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción Oeste del estado de Jalisco, entre las coordenadas geográficas 20° 12' y 20° 41' de latitud norte y 104° 33' y 104° 57' de longitud oeste y abarca un área de 1293.37 km^2.

Limita al norte con los acuíferos de Puerto Vallarta y Mixtlán en el estado de Jalisco; al Este con los acuíferos de Maravilla y Mixtlán en el estado de Jalisco; al Sur con los acuíferos de Santa María y Tomatlán del estado de Jalisco y al Oeste con el acuífero de Puerto Vallarta (figura 1).

Geopolíticamente su territorio cubre parcialmente los municipios de Mascota, Mixtlán y Talpa de Allende del estado de Jalisco.

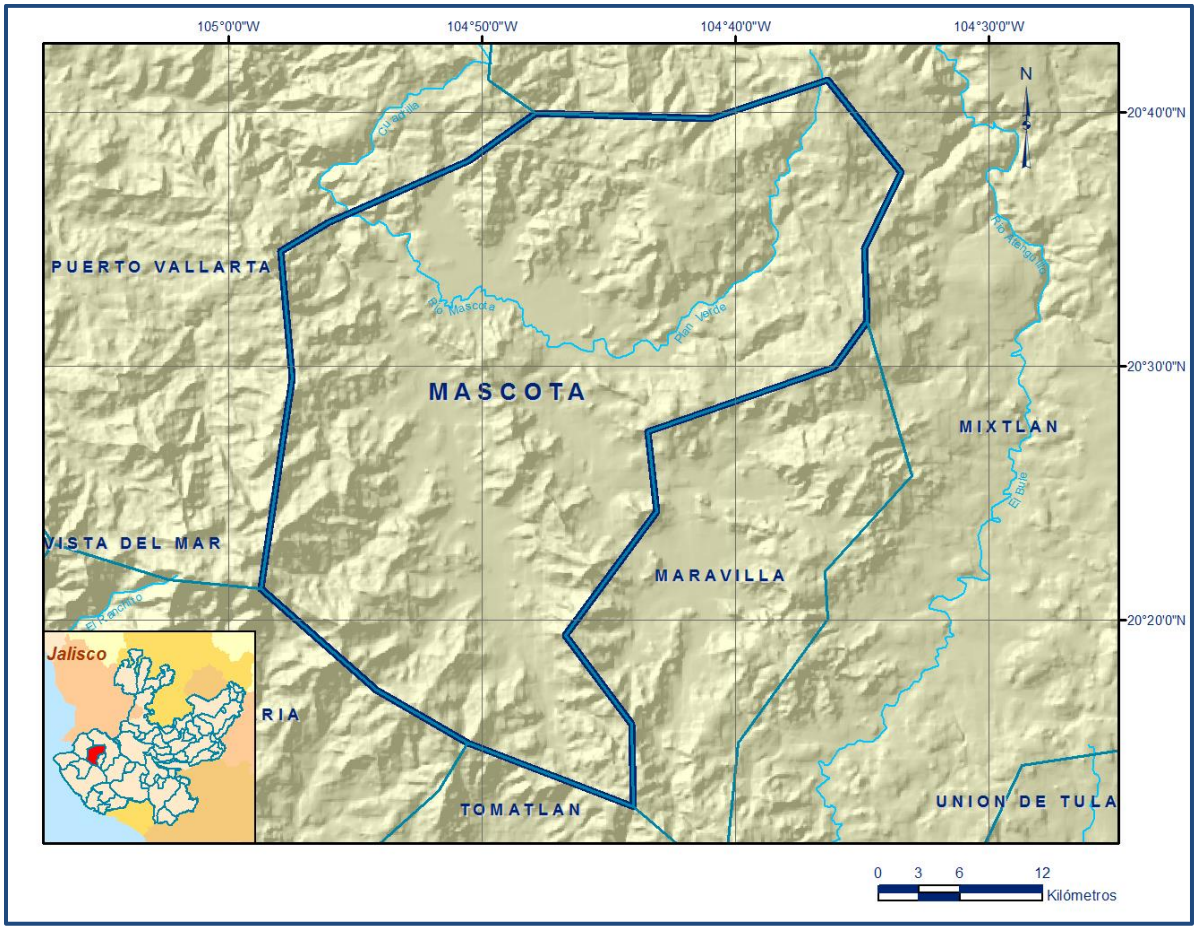


Figura 1. Localización del acuífero

La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1442 MASCOTA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	104	44	1.9	20	12	39.0
2	104	50	32.8	20	15	11.2
3	104	54	9.8	20	17	16.0
4	104	58	42.0	20	21	15.0
5	104	57	29.0	20	29	32.9
6	104	57	55.5	20	34	31.6
7	104	56	2.7	20	35	38.0
8	104	50	30.8	20	38	4.0
9	104	47	51.4	20	39	56.9
10	104	40	59.8	20	39	43.6
11	104	36	21.0	20	41	16.5
12	104	33	28.4	20	37	37.5
13	104	34	54.7	20	34	38.2
14	104	34	48.1	20	31	45.6
15	104	36	6.3	20	29	56.9
16	104	43	26.5	20	27	25.9
17	104	43	7.2	20	24	16.3
18	104	46	42.5	20	19	23.9
19	104	44	5.1	20	15	55.0
1	104	44	1.9	20	12	39.0

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Mascota pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma Santiago Pacífico”. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de un decreto de veda. Regido por el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en zonas no vedadas en diversos Municipios del Estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los Municipios del Estado de Jalisco.”; fue publicado en el DOF el 7 de diciembre de 1987. Dicha veda está clasificada como de tipo III, que permiten 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 acuífero pertenece al Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro, instalado el 25 de octubre del 2007.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas realizada de INEGI, la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, subprovincias fisiográficas Sierras de la Costa de Jalisco y Colima.

2.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predomina los climas de tipo A(C)w2 y A(C)w1. Ambos son climas semicálidos, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 18° y 22°C, cuyo régimen de lluvias es en verano (durante los meses de junio a octubre), con precipitaciones anuales entre 500 y 2,500 mm. La máxima precipitación se registra en el mes de agosto. La época de estiaje se presenta entre noviembre y abril.

Para la determinación de las condiciones climatológicas, se utilizaron los datos de 5 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, con un periodo de registro que comprende de enero de 1995 a enero de 2014; mediante el método de polígonos de Thiessen, se determinó que los valores promedio anuales de temperatura y precipitación son **20.5 °C** y **1,099 mm**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 14 Río Ameca; donde se ubica la cuenca Río Mascota, y parcialmente las cuencas Río Talpa, Río Ameca Ixtapa A, Río Ameca Pijinto, Atenguillo y Río Tomatlán A.

Los principales arroyos de la región son: El Atajo, El Tata Felipe, El Durazno, La Plata, El Puerto, Juanacatlán, El Tacote, Las Joyas, La Lima, La Huerta, Los Zapotes, Monte Grande. El patrón local de drenaje que predomina es de tipo contorsionado, aunque hace parte de un patrón general radial que se centra en Bahía de Banderas. Está controlado principalmente por las estructuras, la litología y morfología de las unidades en las que se emplaza; tal es el caso de la Sierra Madre del Sur, cuya litología está afectada por un sistema de fallas transversales orientadas de noroeste a sureste, paralelas a la costa.

Al norte del acuífero se encuentra la Laguna Juanacatlán y en el centro el lago Mascota. Asimismo, en el centro del área del acuífero, se encuentra la presa Corinchis.

2.4 Geomorfología

Este acuífero posee un par de valles intermontanos (por donde fluyen los Ríos Mascota y Talpa), separados por los Cerros Embocadero, Alto, Tapanco, La Narizona, La Peña, La Mona y Para Nada.

En el norte del acuífero se encuentra un bloque montañoso compuesto por los cerros La Peña Morada, El Novillero, El Malpaís, El Puerto y Los Gallos, con una altitud máxima de 2,500 msnm en El Puerto.

Este bloque es un campo volcánico con diferentes estructuras como: domos, conos monogenéticos de lava y coladas de lava. Por ejemplo, El Malpaís es un domo principal con algunas coladas emplazadas en los valles intermontanos con dirección NE-SW. Según Ferrari et al. (1993) se considera que esta es la dirección más reciente de la frontera norte del Bloque Jalisco.

De igual modo, El Puerto es un volcán que pertenece a este campo, el cual creó una colada de lava en dirección al valle, formando un extenso malpaís (mayor a 5 km de longitud), donde se tienen formas como levées y depresiones intraflujo.

En el centro del acuífero se observan valles con partes llanas, como en el valle del Río Mascota, esto se debe a que la actividad volcánica modificó localmente la red hidrológica y por un tiempo el valle se encontraba cerrado, causando procesos de acumulación lacustre. Algunas de estas zonas se preservan como es el caso de la Laguna Juanacatlán.

En la zona que abarca el acuífero Mascota hay diferentes topoformas además de las mencionadas, también existen mesetas asociadas a los lomeríos, mesetas escalonadas, lomeríos suaves y valles de laderas escarpadas, alcanzando diferentes altitudes que oscilan entre los 320 y los 2580 msnm (rancho de En medio y el Cerro Peña Gorda y la Bufa del Real Alto). Asimismo, en las cercanías a Talpa de Allende, se observan mesetas alargadas orientadas NW – SE y sistemas montañosos con la misma orientación, corrientes fluviales que desembocan hacia el occidente en el río Ameca, que a su vez desemboca en el Océano Pacífico.

El sistema montañoso presenta elevaciones que oscilan entre los 1,100 (en el valle de Talpa) y los 2,700 msnm (cerro El Torreón). Esta cadena montañosa está conformada por amplias llanuras con lomeríos de piedemonte o aislados y sierras pequeñas escarpadas de naturaleza volcánica; sistemas de mesetas lobuladas y escalonadas, valles de convexidad vertical, sierras con valles paralelos separados entre sí por áreas planas en sus partes altas y hacia la parte sur sierras con valles ramificados muy amplios.

3. GEOLOGÍA

Litológicamente el acuífero está constituido principalmente por rocas ígneas, predominando las extrusivas, como es la toba riolítica, el basalto y la brecha volcánica básica, todos del Cenozoico, siendo los últimos mencionados los más jóvenes (Plioceno-Cuaternario).

3.1 Estratigrafía

A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero, en orden cronológico de la más antigua a la más reciente. (figura 2).

JURÁSICO

Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas del Jurásico consisten en esquistos, filitas y pizarras, que afloran al poniente de Talpa de Allende y al noreste de Mascota (SGM, 2021).

CRETÁCICO INFERIOR

Granito y Granodiorita

En cambio, en el Suroeste del acuífero se identifican rocas ígneas intrusivas cretácicas (como el granito).

Se presentan principalmente en forma de batolitos cuya composición en general es de tipo granítico y granítico-diorítico (Delgado y otros, 1978). Según descripciones del SGM, son el basamento de esta zona.

A estas rocas se le denomina Batolito Puerto Vallarta y se le atribuye una edad 103 a 101 Ma (Schaaf P. 1995).

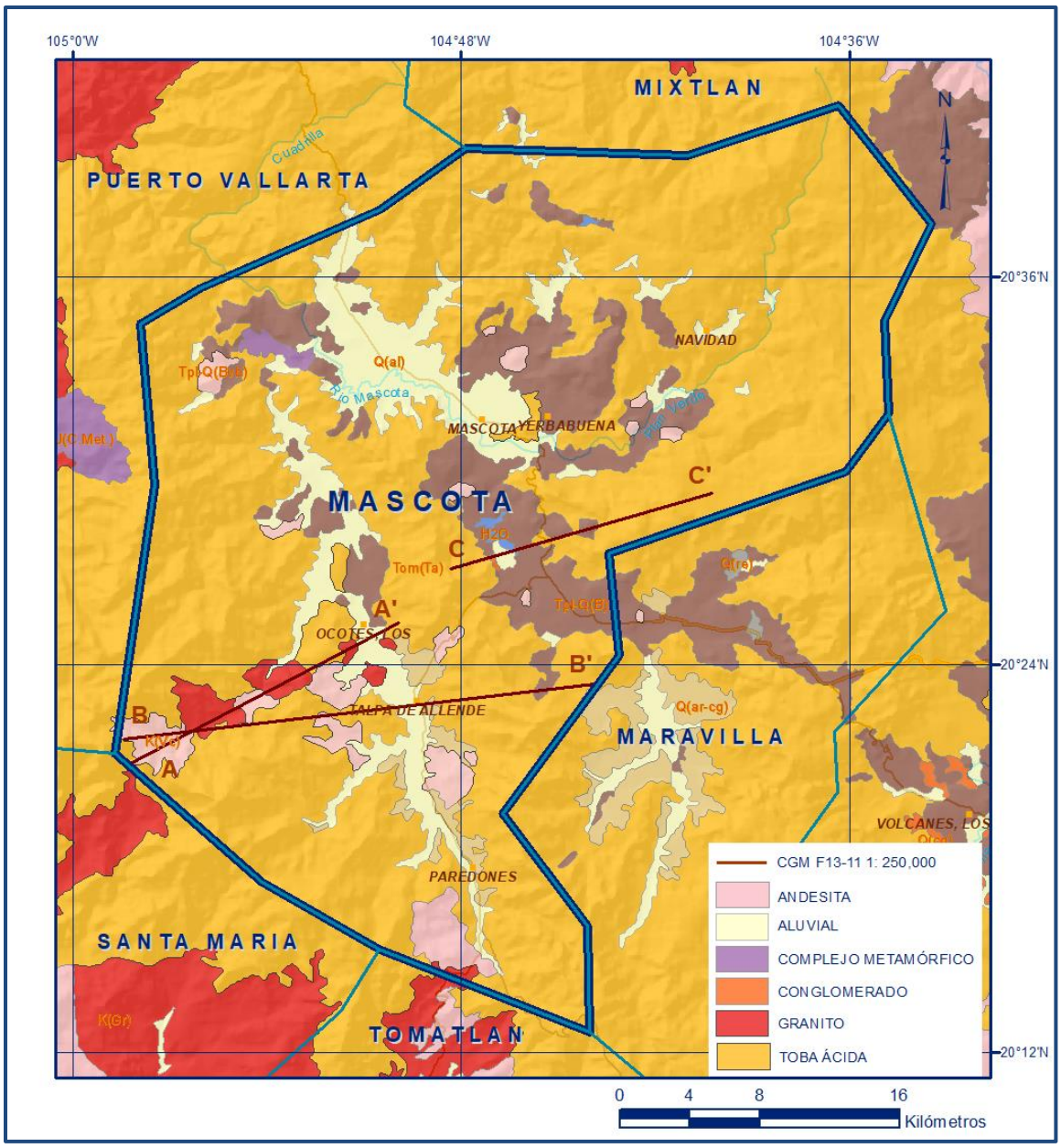


Figura 2. Geología general del acuífero

Diorita

Asimismo, también se encuentran aflorando rocas dioríticas, especialmente al sur del área del acuífero, con elevaciones máximas de 1500 msnm. Éste intrusiona al Batolito Puerto Vallarta y a las tobas riolíticas cretácicas. Zimmerman (1988) lo fecha con una edad de 73 Ma (del Campaniano).

Rocas vulcano-sedimentarias

Pertenecientes al Cretácico Inferior, cuyo espesor es pequeño y sirve como relleno de la superficie. Están constituidas por lutitas, limolitas, areniscas y calizas alternadas con tobas riolíticas, riodacíticas y andesitas y que han sido correlacionadas con secuencias similares en otras localidades hacia el oriente y occidente de la región asignándole una edad Neocomiano-Aptiano (SGM, 2001). Este paquete hace parte del terreno Guerrero.

CRETÁCICO SUPERIOR

Toba riolítica

Sobreyaciendo a las rocas vulcano-sedimentarias se encuentra una secuencia pseudoestratificada de tobas riolíticas en horizontes de brechas y tobas que representan un vulcanismo cretácico superior cuyas edades están entre 114-83 Ma (Gástill, 1983 en Zimmerman J.L. et al. 1988). Esta edad es similar a la del Batolito Puerto Vallarta.

PLIOCENO-CUATERNARIO

Toba ácida

Es la roca más abundante en esta área, McDowell y Clabaugh (1979) la consideran como parte del Complejo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental (en C.R.M., 1999), sin embargo, con fechamientos más recientes se la ha atribuido una edad de 3.17 ±0.04 Ma, es decir del Plioceno y la consideran una cubierta del Eje Neovolcánico. Es una roca color pardo a rosado (SE, 2004 y SGM, 2001).

PLEISTOCENO

Basaltos

Son comunes en la parte central del acuífero, por donde fluye el Río Mascota y minoritariamente el Río Talpa. Son el producto de un periodo de vulcanismo calco-alcalino pertenecientes a la provincia petrológica del Eje Neovolcánico (Demant, 1982).

Por la ubicación de estos afloramientos se infiere que el vulcanismo fue de tipo fisural, habiéndose emplazado en fallamientos regionales con orientaciones NW-SE y N-S.

Brecha volcánica básica

Aunque son escasos, afloran especialmente en la porción Central y Oeste del acuífero hacia el acuífero de Puerto Vallarta.

Areniscas-Conglomerados

Sobreyaciendo a todas las rocas anteriores se encuentra un conglomerado polimíctico constituido por clastos de rocas ácidas, andesitas y basaltos de hasta 50 cm, bien redondeados, en una matriz arenosa a lo que se les asigna una edad del Pleistoceno superior, se localizan especialmente al poniente y centro del área del acuífero. Por otro lado, a estos los cubren sedimentos aluviales también del Cuaternario en las mismas zonas del acuífero.

3.2 Geología estructural

En el área se presentan estructuras producto de deformaciones dúctil y frágil, las primeras originadas por procesos compresivos que dieron lugar a plegamientos y foliación durante la orogenia Laramide, mientras que las frágiles se originaron durante procesos de distensión post-cretácico.

La deformación dúctil se observa en la secuencia vulcano-sedimentaria, representada por pliegues métricos. Estos se presentan más comúnmente en forma de rodilla y en menor proporción en tipo chevron y recumbentes con vergencia aparente hacia el NW. En esta misma unidad se observa incipiente foliación y/o esquistosidad de fractura sin que ésta sea penetrativa, su orientación es de N 80° E con inclinaciones de 75°SE.

La deformación frágil está representada por fracturas y fallas normales, las primeras presentan orientaciones que varían de N 65W a N 45°E con inclinaciones de 25° hasta la vertical y de magnitud considerable (60-90 km). En algunas localidades en menor proporción se observan rumbos E-W con inclinaciones similares, sobresaliendo las siguientes:

Fallas Mascota I y II y Talpa. Presentan un rumbo de NW 60°SE y NW 30° SE con inclinaciones de 80° SW y una longitud de 3.5 km, corresponde a las estructuras normales; afloran en la porción oriental de la carta, estas estructuras podrían ser resultado de movimientos transtensivos orientados E-W y que se reflejan fuera de la carta.

Falla Piedra Rajada. Este lineamiento presenta una componente lateral sinestral y se verificó a lo largo de 7.6 km con una orientación de NE 15°SW y echado de 70° al NW,

cambiando hacia el norte a NE 45°SW y hacia el sur presenta un rumbo de NE 75°SW. Aflora en el cuadrante SW de la carta de Talpa.

Falla Ocotitlán. Esta estructura localizada en la Proción centro occidental de la carta de Talpa actúa como contacto entre el intrusivo granítico con secuencia vulcanosedimentaria y diorita. Su orientación general es este oeste con 72°sur, su longitud conocida es de aproximadamente 4 km.

Fallas Monte Grande. Con una orientación NE 72°SW e inclinaciones de 79°NW, con una longitud conocida mayor a 3 km y la cual está cortada por una falla de componente lateral dextral ubicada en el sur de la carta de Talpa.

Durante el Jurásico-Cretácico se desarrolló una zona de subducción a lo largo del margen occidental de México debido a la convergencia de las placas de Norteamérica y de Farallón generando un arco de islas que permitió el depósito de la secuencia vulcanosedimentaria.

Entre el Albiano y los límites entre Cretácico-Cenozoico se desarrolla un proceso magmático que dio lugar al emplazamiento del Batolito Puerto Vallarta (Zimmerman et al. 1988, Schaaf et al. 1995). Tomando en cuenta la afinidad calcolalcalina del Batolito y la presencia de una unidad volcánica de tobas riolíticas con edades entre 114 a 83 Ma es posible interpretar la asociación del Batolito Puerto Vallarta con un arco volcánico. De acuerdo con la interpretación Maillol et al (1997) el sistema Vallarta está asociado a un fallamiento asociado a un sistema de fallas transcurrentes.

Las evidencias de deformación dúctil representadas por los pliegues y foliación en la secuencia vulcanosedimentaria, la cual no fue detectada en las tobas riolíticas indica que en esta deformación se llevó a cabo durante las primeras manifestaciones de la Orogenia Laramide y antes de los 83 Ma, considerando la poca o ausente deformación en las tobas de edad Aptiano-Santoninano. La deformación frágil que se observa afectando a las rocas riolíticas cretácicas es consecuencia de un proceso distensivo post-Laramídico que se originó durante el Eoceno-Mioceno que dio origen a las fallas normales y reactivó como normales a las fallas Talpa y Mascota que actualmente presentan un escalonamiento. Aprovechando las fallas y fisuras durante el lapso Plioceno al Reciente se ha desarrollado un arco volcánico continental que constituye el Eje Neovolcánico como consecuencia del movimiento diferenciado entre

Norteamérica y la Placa de Cocos, durante el Mioceno tardío (Demand, 1982), que corresponde a un volcanismo fisural, el cual se manifiesta en esta carta con lineamientos de los conos volcánicos con orientaciones NW-SE y NE-SW.

Dicha distensión ha generado varias depresiones como la de Puerto-Vallarta-Mascota, que a su vez ha generado el emplazamiento de los centros volcánicos, uno de los principales en la zona es el Graben Mascota que hace parte del Lineamiento Volcánico central de Jalisco.

Más tarde durante el Plioceno temprano se fracturó la zona con la misma orientación como resultado de los movimientos extensivos causados por la separación del Bloque Jalisco del resto del territorio actual y que aún ocurre por episodios (Ferrari, 2000).

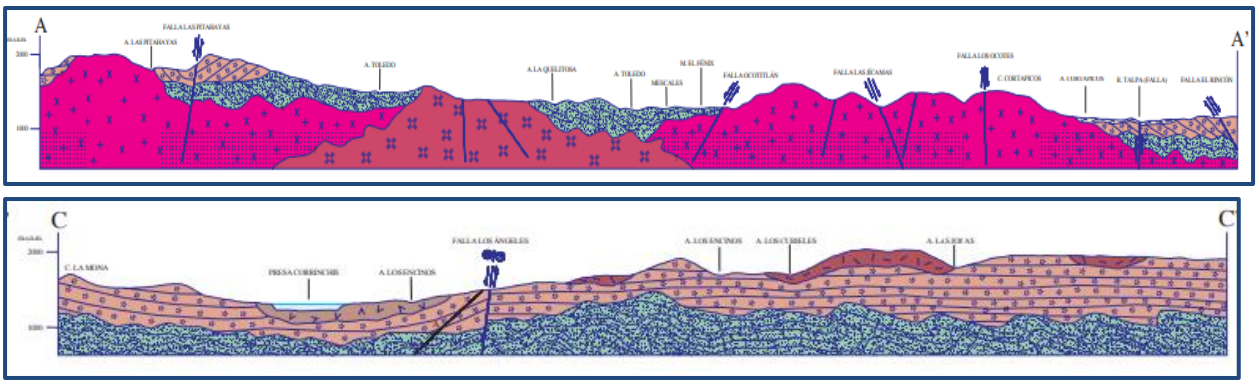
3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geológica y geofísica así como la geología superficial recabada en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible establecer que el acuífero se encuentra constituido, en la zona de valles, por sedimentos de granulometría variable, que conforman el cauce de los Ríos Talpa, Mascota y otros ríos y arroyos intermontanos, así como los conglomerados polimícticos, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales desde las regiones topográficamente más altas (figura 3).

A mayor profundidad se encuentran basaltos y tobas ácidas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

Asimismo, más abajo se encuentran tobas riolíticas del Cretácico que sobreyacen a las rocas vulcanosedimentarias del Cretácico. Ambas se asumen con permeabilidad media a baja por su fracturamiento moderado.

Finalmente, en ciertos sitios el batolito Vallarta y las rocas dioríticas del Cretácico inferior actúan como basamento. Estas rocas también poseen una permeabilidad baja por lo que actúan como confinantes, intrusionan en estratos superiores o afloran en superficie (sobre todo al Oeste del acuífero) por lo que también controlan el flujo regional en esta zona.



Fuente: Carta Geológico-Minera F13-D71 "Talpa de Allende" Esc. 1: 50,000 (SGM, 2001)

Fuente: Carta Geológico-Minera F13-11 "Puerto Vallarta" Esc. 1: 250,000 (SGM, 1999)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Teniendo en consideración las características físicas (grado de compactación, granulometría, fracturamiento, etc.) de los materiales que afloran en la zona, se puede asignar de manera cualitativa a cada material una permeabilidad y agruparlos en unidades hidrogeológicas:

Formación hidrogeológica I

Comprende a los depósitos aluviales y de conglomerados polimícticos del centro del valle, los cuales presentan una variada granulometría; su permeabilidad es alta, hidrogeológicamente actúa como un acuífero libre de buena potencialidad.

Formación hidrogeológica II

Comprende a los depósitos vulcanosedimentarios del Cretácico, las tobas ácidas, brechas y basaltos del Cuaternario; los cuales presentan un fracturamiento moderado.

La permeabilidad de la unidad va de media a baja. Hidrológicamente estos materiales actúan en superficie como una zona de recarga restringida, mientras que en el subsuelo pueden llegar a conformar bajo condiciones especiales, acuíferos semiconfinados de baja potencialidad.

Formación hidrogeológica III

Esta unidad agrupa a las rocas graníticas- dioríticas del Jurásico, a las ígneas extrusivas del Cretácico.

La permeabilidad en general de estos materiales es baja, por lo que en la superficie el agua que se precipita sobre ellas sólo escurre, mientras que en el subsuelo funcionan como barrera impermeable.

El resto de las unidades litológicas, por la baja permeabilidad que presentan no constituyen acuíferos.

5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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. La ecuación general de balance, de acuerdo con la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

Entradas (E) – Salidas (S) = Cambio de masa

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas están 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 Mascota están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv). No existe información piezométrica actual ni histórica que cubra la zona del acuífero, de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas Por estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de **1,296.1 km²** del acuífero para estimar el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

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 del acuífero, mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

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

De esta manera, despejando la recarga vertical se obtiene la siguiente ecuación:

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

Como se mencionó anteriormente para obtener los valores de precipitación media anual (PMA) y temperatura media anual (TMA) se trazaron polígonos de Thiessen, abarcando un área de 1,296.1 km^2 para el balance. En el caso del acuífero Mascota la PMA es de 1,099 mm/año y la TMA es de 20.5 °C.

Por lo tanto, para calcular el volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se multiplicó el área del balance (1,296.1 km^2) por la precipitación media anual (1,099 mm):

$$\mathbf{V_{LL} = 1{,}296.1\ km^2\ (1.099\ m) = 1{,}424.4\ hm^3\ anuales}$$

Por otro lado, para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los mismos valores de PMA y TMA. Turc, a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas por todos los climas del mundo, define la siguiente expresión para la estimación de la evapotranspiración real:

$$ETR(mm) = \frac{P(mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2(mm)}{L^2}\right)}}$$

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación 0.31L. En caso contrario se obtiene una ETR > P y para estos casos se debe considerar a ETR = P.

De acuerdo con lo anterior, se obtiene un valor de lámina de evapotranspiración de **848 mm anuales.**

$$ETR\ (mm) = \frac{P\ (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2\ (mm)}{L^2}\right)}} \qquad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T(°C)=	20.5		
P(mm)=	1099	P^2=	1207801
L=	1243.25625	L^2=	1545686.1
ETR(mm)=	848		

Por lo tanto, el volumen de ETR es:

V_{ETR} = 1,296.1 km² (0.848 m) = 1,099.1 hm³ 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 de 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 y Geografía y de visitas de campo, 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 que, en la cuenca estudiada 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;

De acuerdo con el sistema FAO/UNESCO y modificado por la Dirección General de Geografía, en la zona que comprende el acuífero Mascota predominan los siguientes tipos de suelo: Acrisol, Cambisol, Luvisol y Regosol que se clasificaron en dos tipos de suelo: B y C (figura 4).

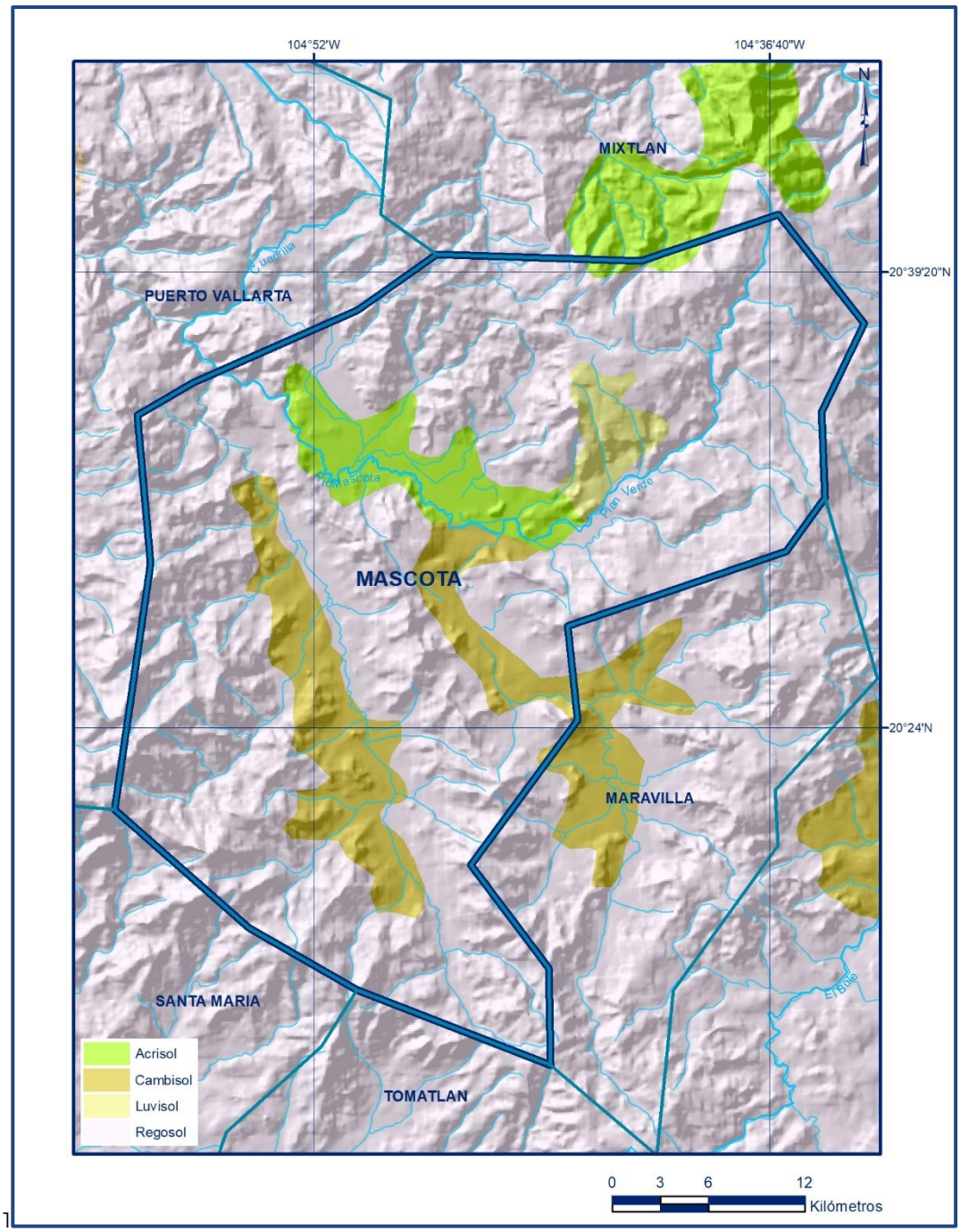


Figura 4. Tipo de suelo

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 siete usos de suelo diferentes: área agrícola, asentamientos humanos, bosque, cuerpos de agua, otros tipos, pastizal y selva (figura 5).

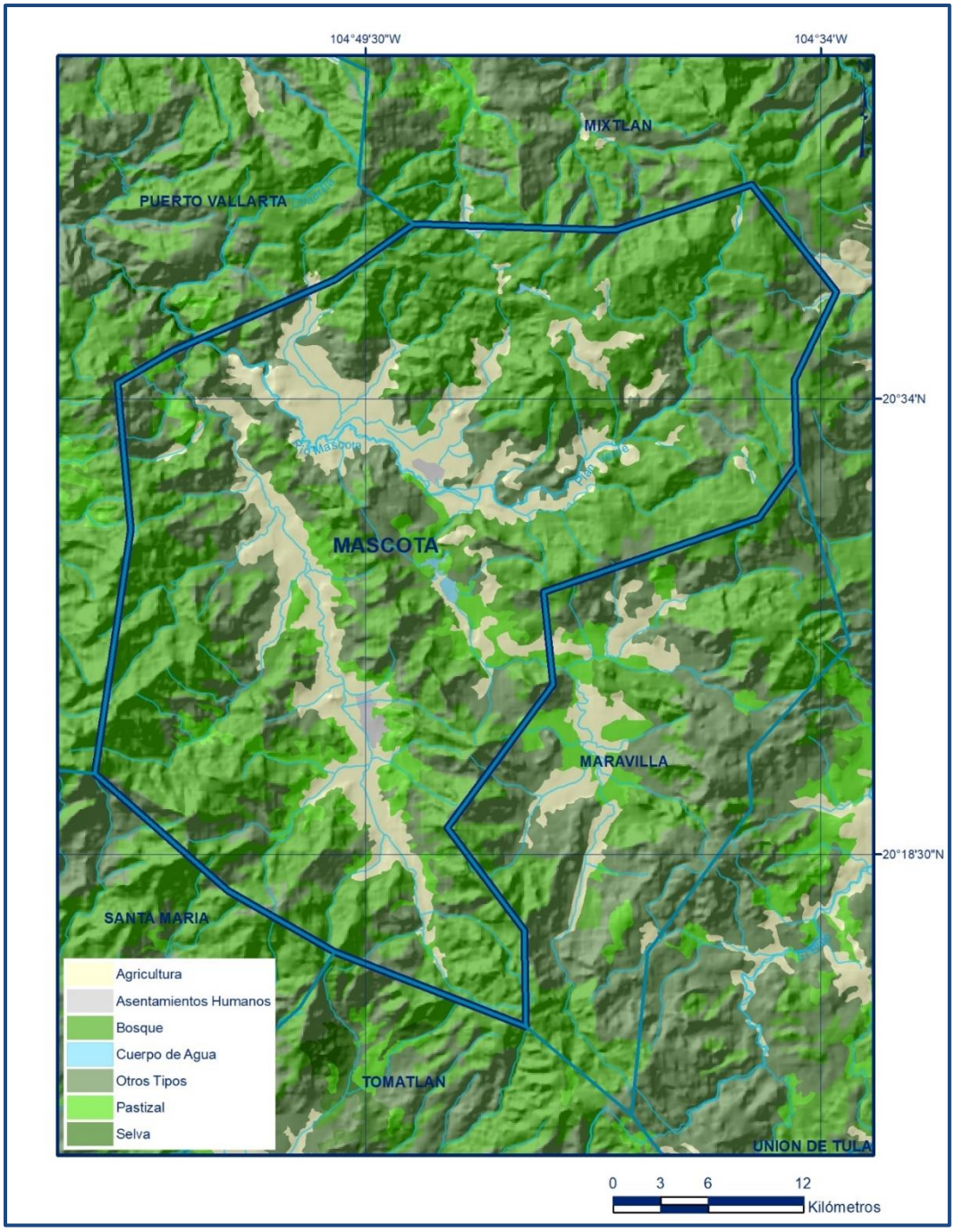


Figura 5. Uso de suelo

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

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 esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.250, 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 = 0.1730

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

V_{ESC} = 0.1730 (1,424.4 hm^3) = 246.4 hm^3 anuales

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}\ (2)}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 1{,}424.4 - 1{,}099.1 - 246.4}$$
$$\mathbf{V_{INF} = 78.9\ hm^3\ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 1,424.4 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0554. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es:

$$\mathbf{Rv = 78.9\ hm^3\ anuales}$$

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 a través de flujo base (Dm).

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 **9.4 hm^3 anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por flujo base (Dfb)

Analizando los datos de la estación hidrométrica Mascota con clave B14030 del sistema de Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), para junio del año 2004, se consideró el flujo de caudal base mínimo de **58.7 hm^3 anuales.**

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 a la suma de los volúmenes que ingresan al acuífero en forma de recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de la recarga total media anual que recibe el acuífero es de **78.9 hm³ anuales.**

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 de Mascota se considera que el valor de descarga natural comprometida corresponde a **58.7 hm³ anuales.**

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 **9'426,730 m^3 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.

Por lo tanto, la disponibilidad de aguas subterráneas, es:

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 78.9 – 58.7 – 9.426730

DMA = 10.773270 hm^3 anuales

El resultado indica que existe disponibilidad de **10'773,270 m^3 anuales** para otorgar nuevas concesiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ferrari L. 2000. Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 53, Número 1, pp.84-92.

García E. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros. Número 6. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. 2011. TEXTO GUÍA CARTA MAGNÉTICA "PUERTO VALLARTA" F13-11. Escala 1:250000. Editado por el Consejo de Recursos Minerales.

Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. 2004. Informe de la carta geológico-minera "El Tuito" F13-C79. Escala 1:50,000. Editado por el Consejo de Recursos Minerales.

Servicio Geológico Mexicano. 1999. Carta Geológico-Minera F13-11 "Puerto Vallarta" Esc. 1: 250,000.

Servicio Geológico Mexicano. 2001. Carta Geológico-Minera F13-D71 "Talpa de Allende" Esc. 1: 50,000.

Universidad de Guadalajara. 2001. Las regiones geomorfológicas del estado de Jalisco. Año 2, Número 3. Geocalli. Cuadernos de Geografía. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial.