



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO AGUACATE (1407), 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.....	9
3.3 Geología del subsuelo.....	9
4. HIDROGEOLOGÍA.....	10
4.1 Tipo de acuífero	10
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	10
5.1 Entradas.....	11
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	11
5.2 Salidas.....	17
5.2.1 Descarga por manantiales (Dm)	17
5.2.2 Bombeo (B).....	17
6. DISPONIBILIDAD	17
6.1 Recarga total media anual (R)	18
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	18
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	18
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	19
7. BIBLIOGRAFÍA	20

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 Aguacate, definido con la clave 1407, se localiza en el estado de Jalisco, entre las coordenadas geográficas 20° 00' y 19° 42' de latitud norte, y 103° 30' y 103° 14' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 347.52 km².

Limita al norte con el acuífero Lagunas, al sur y este con el acuífero Ciudad Guzmán y al noroeste con el acuífero Unión de Guadalupe, todos estos pertenecientes al estado de Jalisco, (figura 1).

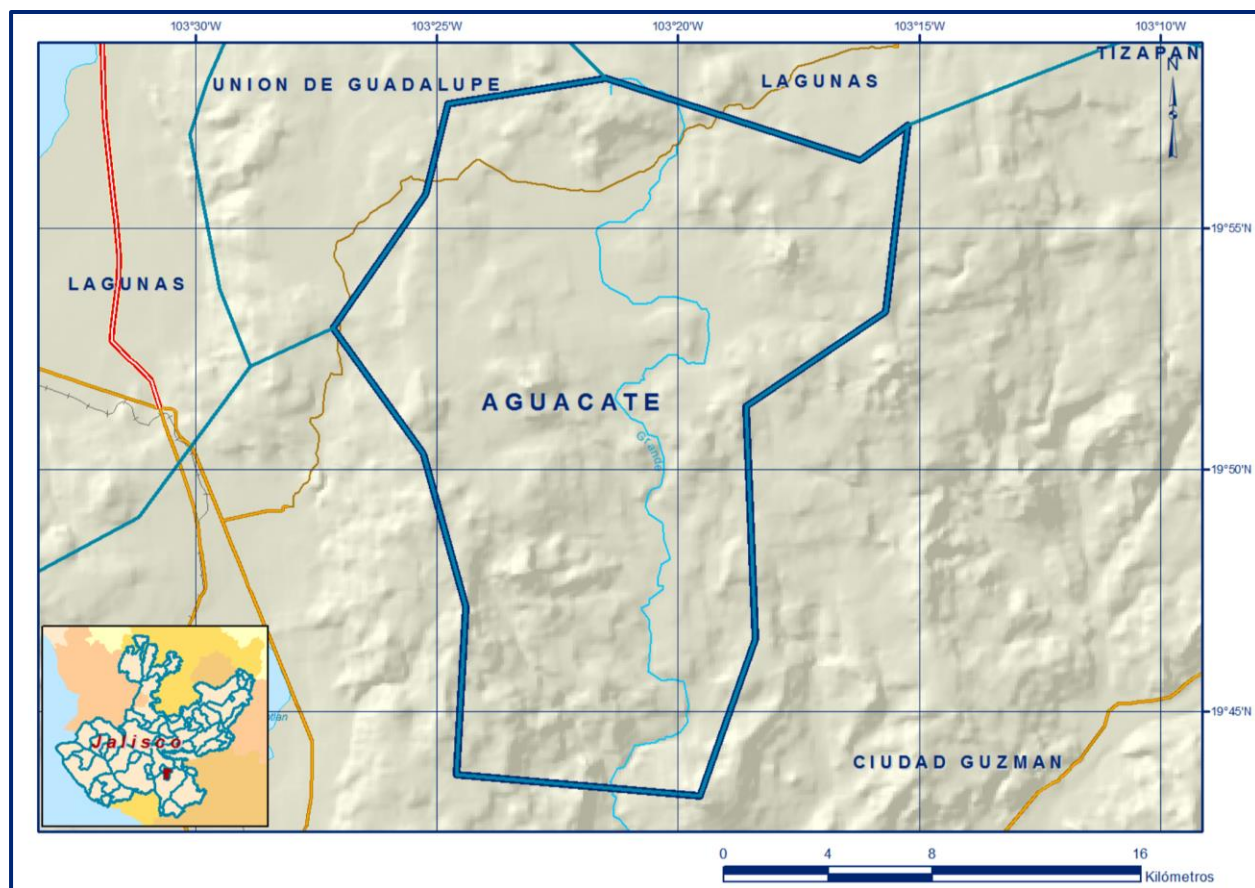


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se localiza principalmente en los municipios Gómez Farías y Tamazula de Gordiano, y parcialmente en los municipios Atoyac, Zapotlán el Grande, Concepción de Buenos Aires y Zapotiltic, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco.

La poligonal que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1407 AGUACATE						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	15	15.3	19	57	8.9
2	103	15	42.9	19	53	16.2
3	103	18	36.0	19	51	18.9
4	103	18	24.0	19	46	30.5
5	103	19	33.6	19	43	15.6
6	103	24	36.0	19	43	41.4
7	103	24	24.0	19	47	10.3
8	103	25	17.7	19	50	21.2
9	103	27	9.3	19	52	56.4
10	103	25	13.6	19	55	42.4
11	103	24	46.9	19	57	34.5
12	103	21	29.4	19	58	6.5
13	103	16	14.4	19	56	25.1
1	103	15	15.3	19	57	8.9

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Aguacate pertenece al Organismo de Cuenca VIII “*Lerma – Santiago - Pacífico*”. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a la disposición de tres decretos, el primero es 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*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 07 de diciembre de 1987; esta veda se clasifica como tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros, el segundo decreto es el “*DECRETO por el que se declara de interés público la Conservación de los mantos acuíferos en los Municipios de Tecatitlán, Tuxpan, Zapotilic, Cd. Guzmán, San Sebastián y Sayula, Jal.*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de enero de 1978; esta veda se clasifica como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medio manuales, y el tercer decreto es el “*DECRETO por el que se declara de interés público la Conservación de los mantos acuíferos en la zona del Bajo Balsas, estableciéndose veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento, y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona.*”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de junio de 1975; esta

veda se clasifica como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medio manuales.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El uso principal del agua subterránea es agrícola. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca Costa Pacífico Centro.

2. FISIOGRAFÍA

2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo a la clasificación de las provincias fisiográficas realizada de INEGI, la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la provincia Eje Neovolcánico, subprovincia Chapala.

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 el clima templado subhúmedo.

Para la determinación de las condiciones climatológicas, se utilizaron los datos de 4 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, con un periodo de registro que va de 1970 a 1992; mediante el método de polígonos de Thiessen, se determinó que los valores promedio anuales de temperatura y precipitación son **20.3°C** y **973.1 mm**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 16, Armería - Coahuayana, en ella se encuentra principalmente la cuenca Quito, aunque las cuencas Laguna de Sayula A, Laguna de Sayula B y Laguna de Zapotlán cubren el acuífero en menor proporción.

“La cuenca hidrológica Quito drena una superficie de 2,422.0 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al norte y al oeste por la región hidrológica número 12 Lerma-Santiago, al sur por la cuenca hidrológica Coahuayana 1 y al este por la región hidrológica número 18 Balsas”, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013.

“La cuenca hidrológica Laguna de Sayula A drena una superficie de 147.0 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al norte por la cuenca hidrológica Laguna de Sayula B, al sur por la cuenca hidrológica Laguna de Zapotlán, al este por la región hidrológica número 16 Armería-Coahuayana y por la cuenca hidrológica Laguna de Sayula B y al oeste por la cuenca hidrológica Laguna de Sayula B”, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de -1.761 millones de metros cúbicos (déficit), de acuerdo a lo publicado en el DOF el 21 de septiembre de 2020.

“La cuenca hidrológica Laguna de Sayula B drena una superficie de 1,334.0 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al norte por la cuenca hidrológica Laguna San Marcos-Zacoalco, al sur por la cuenca hidrológica Laguna de Zapotlán, al este por la región hidrológica número 16 Armería-Coahuayana y al oeste por la región hidrológica número 16 Armería-Coahuayana”, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de -39.616 millones de metros cúbicos, es decir, déficit, de acuerdo a lo publicado en el DOF el 21 de septiembre de 2020.

“La cuenca hidrológica Laguna de Zapotlán drena una superficie de 461.0 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al norte por las cuencas hidrológicas Laguna de Sayula A y Laguna de Sayula B y el resto del límite de la cuenca es rodeado por la región hidrológica número 16 Armería-Coahuayana”, de acuerdo a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación en el año 2013. Esta cuenca tiene un volumen disponible a la salida de 11.287 millones de metros cúbicos, de acuerdo a lo publicado en el DOF el 21 de septiembre de 2020.

El patrón de drenaje que predomina es de tipo dendrítico, controlado principalmente por las estructuras, la litología y morfología de las unidades en las que se emplaza.

Los principales ríos que conforman la región son Arroyo Grande, Los Chinos, Piedras Negras y San Jerónimo.

2.4 Geomorfología

La geomorfología de este acuífero se encuentra conformado por lomeríos de basalto con llanuras, sierra volcánica de laderas escarpadas con cañadas y valle de laderas tendidas con lomerío.

3. GEOLOGÍA

El acuífero se encuentra ubicado sobre la Sierra Madre Occidental, está representado básicamente por rocas ígneas extrusivas (riodacitas, tobas y basaltos); también existen afloramientos de rocas sedimentarias de origen continental como son las calizas que se encuentran en el sureste y oeste del acuífero, así como depósitos jóvenes representados por suelos aluviales que se encuentra como relleno en el norte del acuífero (Figura 1).

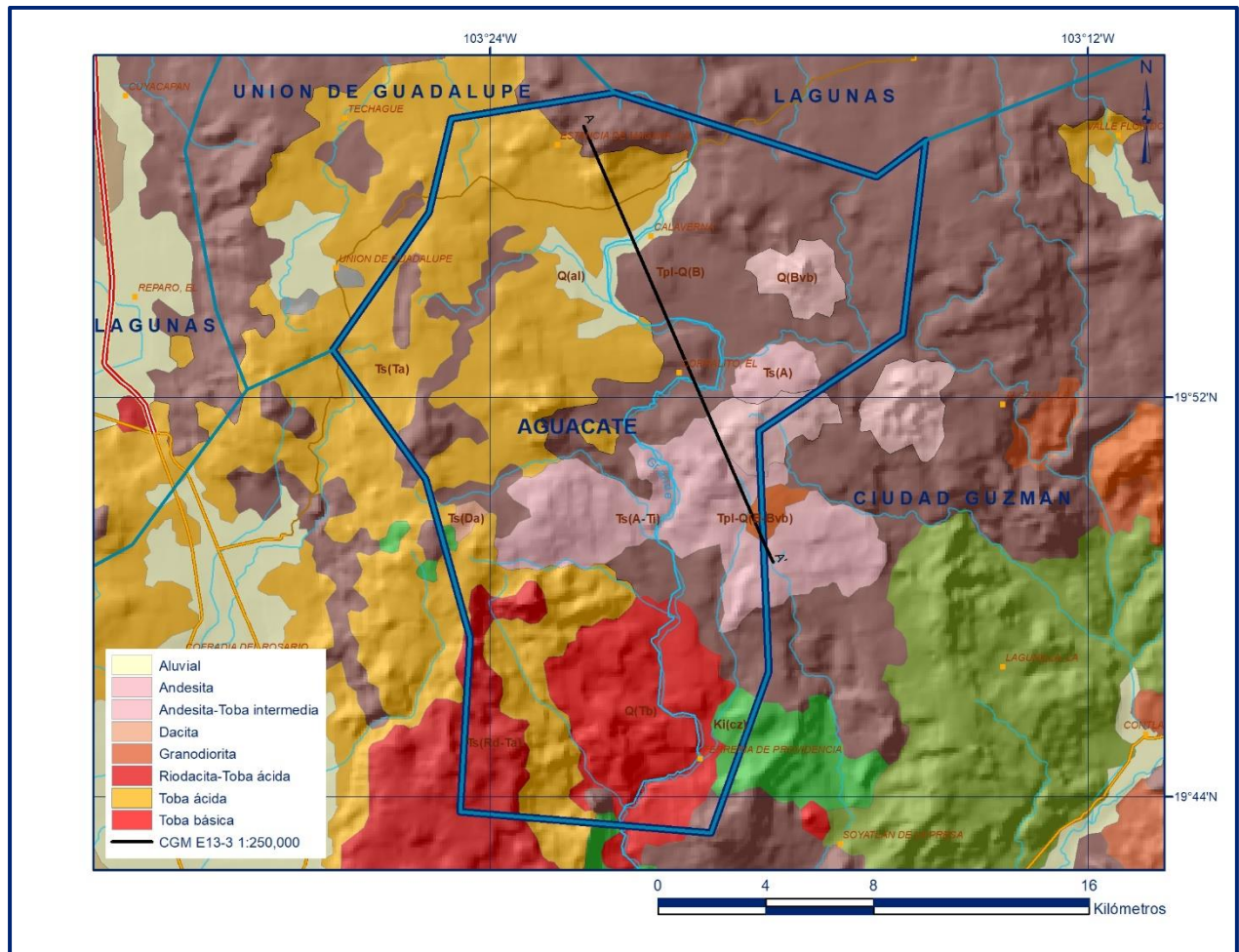


Figura 1. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

La secuencia de rocas expuestas en la región, cuyas edades varían del Cretácico Inferior al Reciente (Carta Geológico-Minera E13-B16 “Mazamitla”, Jalisco y Michoacán. Esc. 1:50,000, SGM 2017, Carta Geológico-Minera E13-B26 “Tamazutla”, Jalisco. Esc.

1:50,000, SGM 2017, Carta Geológico-Minera E13-3 "Colima", Colima, Jalisco y Michoacán. Esc. 1:250,000, SGM 1999), se menciona a continuación:

MESOZOICO

Cretácico - Inferior

Aptiano – Albiano

Vulcanosedimentario - Caliza

La unidad más antigua corresponde a la Formación Tepalcatepec del Aptiano-Albiano, la cual es una secuencia de arenisca con niveles de limolita.

Hacia el sureste, estos depósitos presentan un cambio de facies a caliza de estructura masiva con presencia de foraminíferos (KaCz), de textura microcristalina, que varía a caliza más pura de tonalidades naranjas por la presencia de siderita, correspondiente a la Formación Madrid, ésta es una sucesión de mudstone arcillosa gris oscuro y lutitas ligeramente carbonosas gris oscuro a negro, con estratificación delgada a mediana, que cambia de facies a yesos, cuya edad es del Albiano.

La unidad KaceCz es la más joven de las rocas carbonatadas y presentan una estratificación de gruesa a masiva y contiene eventuales horizontes de yesos; en ocasiones es una caliza arcillosa de color negro.

CENOZOICO

Neógeno - Mioceno

Toba riolítica

La unidad perteneciente a esta época que sobreyace a las rocas carbonatadas es una roca extrusiva que está fechada por K-Ar en 23.5 Ma denominada toba riolítica (TmTR) y pertenece a la Sierra Madre Occidental.

Plioceno – Pleistoceno

Basalto – Andesita, Piroclástico

Aparentemente a partir del Mioceno tardío sucedieron reorganizaciones importantes en el movimiento de las placas que interactuaban con el continente lo que provocó que el arco volcánico miocénico, representado por la Sierra Madre Occidental, cambiara progresivamente su orientación hasta dar lugar a la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVT) dentro de la cual se ha distinguido la unidad de basáltico-andesítica del Cenozoico (TplB-A) como las más antiguas. La composición alcalina de la unidad

TplB-A, reconocida al norte del Complejo Volcánico Colima, representa el inicio del rompimiento continental en esta área.

Incluido dentro de la FVT se tiene al Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato formado por unos 1040 centros volcánicos, en su mayoría conos monogenéticos (Hasenaka y Carmichael, 1985), contemporáneamente a este vulcanismo se desarrollaron los flujos piroclásticos del Tancítaro (Tpl-QptPc).

En el límite del sureste del área de estudio se tienen depósitos piroclásticos cuya fuente se considera el Nevado de Colima (QpthoPc), constituidos por horizontes de ceniza oscura, que al intemperismo presenta niveles gris-amarillento, con abundante vidrio, plagioclasas, feldespato, y fragmentos de perlita, cubren discordante, a las formaciones del Cretácico inferior y al basalto del Plioceno.

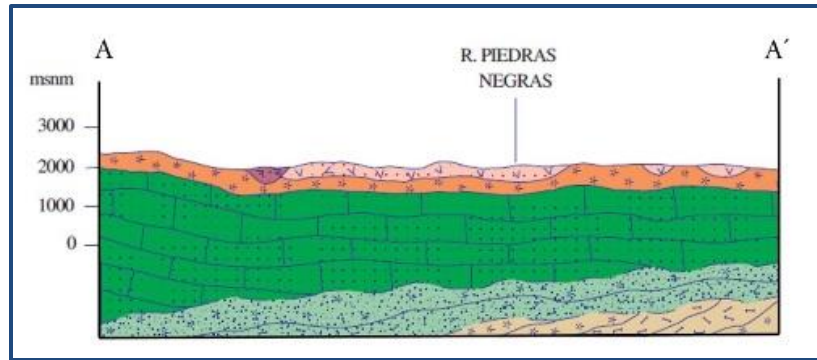
3.2 Geología estructural

Se identificaron estructuras del dominio dúctil-frágil, este régimen se presenta como pliegues cortos e irregulares sobre rocas de la Formación Madrid. Dentro del área se encuentran fallamientos normales, de rumbo SW-NE, tales como Falla Providencia, Falla La Loma, Falla La Mesa, Falla El Madroño; existe también una falla NW – SE de tipo lateral llamada Falla Jiquilpan.

Se presentan lineamientos circulares que se encuentran asociados con aparatos volcánicos de la unidad TplB-A perteneciente al Plioceno, tales como Lineamiento curvo San Gregorio, Lineamiento curvo El Salate, Lineamiento curvo La Guacamaya, Lineamiento curvo El Mozo, entre otros.

3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de algunos cortes litológicos, se determina que el acuífero está constituido, en su porción superior, por depósitos recientes de granulometría variada. La porción inferior se encuentra conformado por rocas vulcanosedimentarias y por toba andesítica-riolítica, en su porción superior, por coladas de composición piroclástica, así como derrames de composición andesítica – basáltica (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera E13-3 "Colima". Esc. 1:250,000 (SGM, 1999)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

Algunas rocas volcánicas aflorantes en la región se consideran de baja permeabilidad como son: andesitas, riolitas, tobas riolíticas y andesíticas, que presentan fracturamiento por donde se infiltra el agua, pudiendo aportar cierta recarga al valle, pero en muy mínima proporción, no impidiendo el paso del flujo subterráneo, y funcionan como barrera impermeable las rocas volcánicas como son: basaltos, tobas y conglomerados, los cuales presentan porosidad y permeabilidad secundaria.

Es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo semiconfinado**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción inferior por depósitos del pleistoceno de granulometría variada, y en su porción superior por toba andesítica-riolítica del Cretácico Inferior, que va del Barremiano al Aptiano.

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, 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:

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

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 Aguacate 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 la superficie 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 del acuífero tomado en cuenta para el balance, se obtiene al multiplicar su área (337.3 km²) por la lámina de precipitación media anual (973.1 mm):

$$V_{LL} = 337.3 \text{ km}^2 (0.9731 \text{ m}) = 328.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 973.1 mm y temperatura de 20.3 °C.

Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas para todos los climas del mundo, reporta la expresión siguiente:

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

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación $0.31L$ (379.9). 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 **787 mm anuales**.

Por lo tanto, el volumen de la ETR (V_{ETR}) es:

$$V_{ETR} = 337.3 \text{ km}^2 (0.787 \text{ m}) = 265.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia (V_{ESC}) se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015 publicada en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 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.

La normatividad establece que el volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{VOLUMEN ANUAL DE} & & \text{PRECIPITACION} & & \text{AREA DE LA} & & \text{COEFICIENTE DE} \\ \text{ESCURRIMIENTO} & = & \text{ANUAL DE LA} & * & \text{CUENCA} & * & \text{ESCURRIMIENTO} \\ \text{NATURAL DE LA} & & \text{CUENCA} & & & & \\ \text{CUENCA} & & & & & & \end{array}$$

El coeficiente de escurrimiento (C_e) 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, 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se determina el uso actual del suelo (figura 5).

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 (C_e), 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

$$C_e = K (P-250) / 2000$$

Si K es mayor que 0.15

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

Donde:

P = Precipitación anual;

C_e = 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	CARACTERÍSTICAS		
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 Aguacate predominan los siguientes tipos de suelo: Andosol, Cambisol, Feozem y Luvisol, que se clasificaron en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

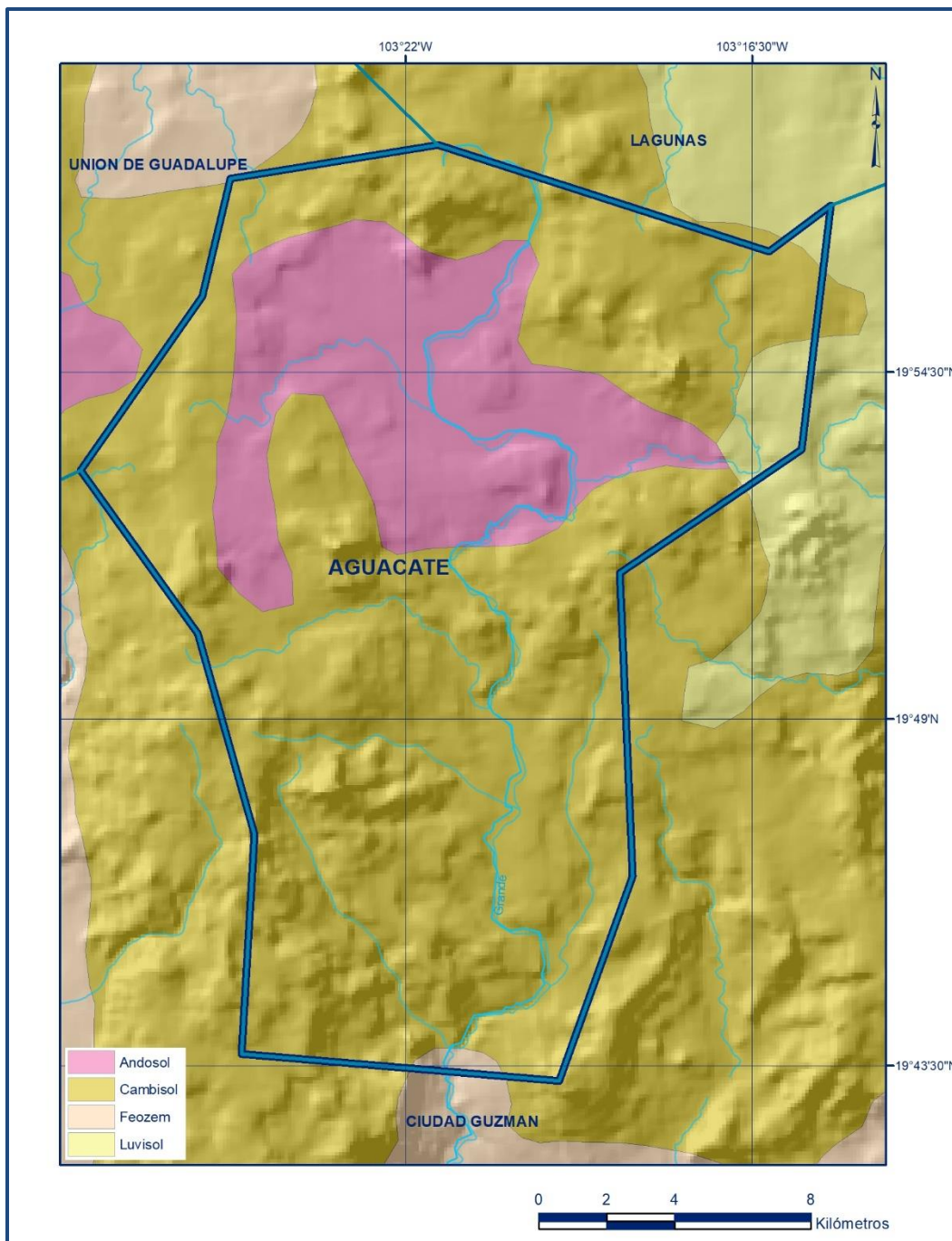


Figura 4. Tipo de suelo

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: área agrícola, bosque, cuerpos de agua, otros tipos y pastizal (figura 5).

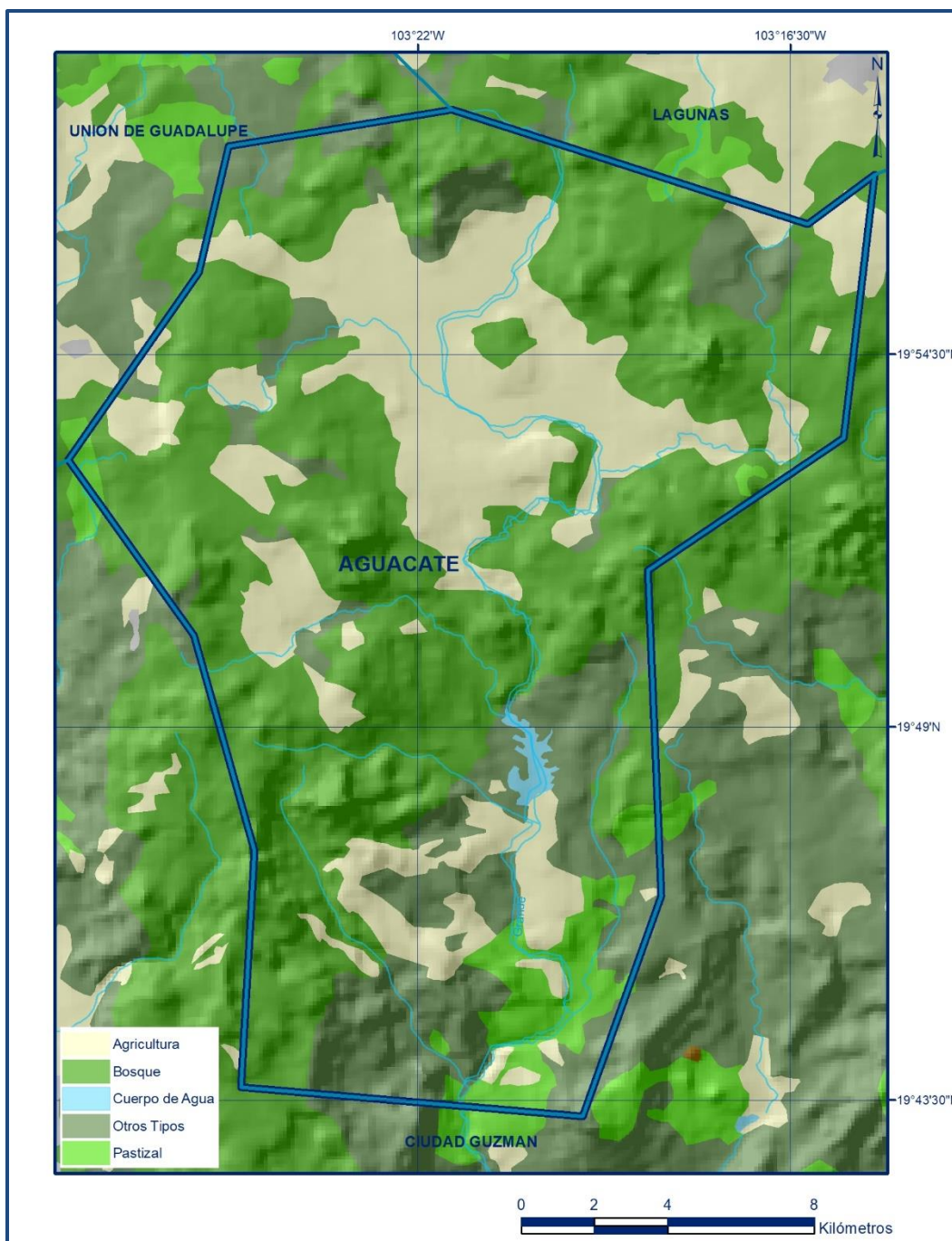


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.24, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$Ce = 0.147$$

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

$$V_{ESC} = 0.147 (328.2 \text{ hm}^3) = 48.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned} V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)} \\ V_{INF} &= 328.2 - 265.5 - 48.2 \\ V_{INF} &= 14.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 328.2 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0442.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 14.5 hm³/año en 337.3 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 14.5 hm³ anuales**

5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:
La descarga del acuífero ocurre principalmente a través de manantiales (Dm).

5.2.1 Descarga por manantiales (Dm)

Se identificó la existencia de manantiales, que en conjunto descargan un caudal de 84.52 l/s, que representan un volumen de **2.7 hm³ anuales**.

5.2.2 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 **16.9 hm³ 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:

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

Donde:

DMA= Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS= Volumen de extracción de aguas subterráneas

6.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso la recarga total es de **14.5 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 este caso, su valor es de **DNC = 2.7 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 **16'900,484 m³** anuales, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 14.5 - 2.7 - 16.900484 \\ \text{DMA} &= -5.100484 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **5'100,484 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

7. BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 1999. Carta Geológico-Minera E13-3 "Colima". Esc. 1:250,000. Jalisco.

Secretaría de Gobernación, ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican, 7 de septiembre del 2020, (México).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos, (2001), México: INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Conjunto de datos vectoriales Geológicos, Fallas fracturas, (2002), México: INEGI.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación, Serie VI, (2017), México: INEGI.

Comisión Nacional del Agua, 2021, Cuencas, Cuencas (nacional), <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas>

Comisión Nacional del Agua, 2021, Regiones Hidrológicas, Regiones Hidrológicas (nacional), <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=regionesHidrologicas>.