

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO JIQUILPAN (1420), 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.....	4
2.1 Provincia fisiográfica.....	4
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía.....	5
2.4 Geomorfología.....	6
3. GEOLOGÍA.....	6
3.1 Estratigrafía.....	7
3.2 Geología estructural.....	8
3.3 Geología del subsuelo.....	9
4. HIDROGEOLOGÍA.....	9
4.1 Tipo de acuífero.....	9
5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	10
5.1 Entradas.....	10
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	10
5.2 Salidas.....	16
5.2.1 Bombeo (B).....	16
5.2.2 Descarga por manantiales (Dm).....	16
6. DISPONIBILIDAD.....	16
6.1 Recarga total media anual (R).....	17
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	17
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	17
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	18
7. BIBLIOGRAFÍA.....	19

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 Jiquilpan, definido con la clave 1420 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el Estado de Jalisco, entre las coordenadas geográficas 19° 52' y 19° 42' de latitud norte, y 103° 48' y 103° 36' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 162.21 km².

Limita al norte con el acuífero Tapalpa, al este con el acuífero Lagunas, al sur y suroeste con el acuífero Autlán, y al sureste con el acuífero Ciudad Guzmán; todos estos pertenecientes al estado de Jalisco, (figura 1).

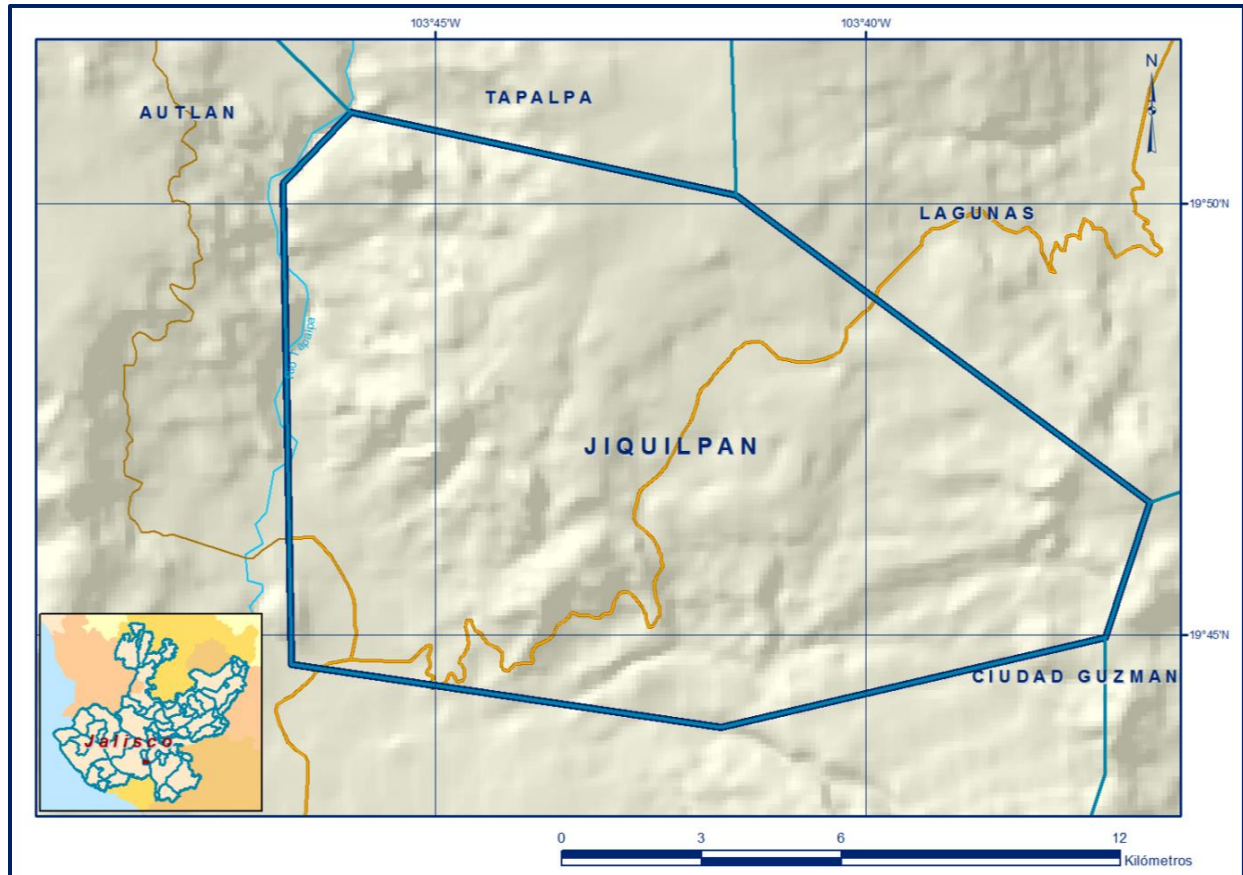


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se localiza principalmente en los municipios San Gabriel y Tapalpa, y parcialmente en los municipios Zapotlán el Grande y Sayula, 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 1420 JIQUILPAN						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	103	36	42.3	19	46	32.5
2	103	37	13.3	19	44	58.2
3	103	41	41.1	19	43	56.0
4	103	46	40.3	19	44	39.7
5	103	46	46.1	19	50	13.9
6	103	45	59.1	19	51	3.8
7	103	41	30.6	19	50	6.0
1	103	36	42.3	19	46	32.5

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Jiquilpan pertenece al Organismo de Cuenca VIII “*Lerma – Santiago - Pacífico*”. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a la disposición de dos 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.

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, y principalmente en las subprovincias fisiográficas Sierras de Jalisco y Chapala y parcialmente en la subprovincia fisiográfica Volcanes de 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 el clima templado subhúmedo. Para la determinación de las condiciones climatológicas, se utilizaron los datos de 3 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, con un periodo de registro que va de 1946 a 2014; mediante el método de polígonos de Thiessen, se determinó que los valores promedio anuales de temperatura y precipitación son **16.4°C** y **754.8 mm**, respectivamente.

2.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 16, Armería - Coahuayana, en ella se encuentra principalmente la cuenca El Rosario, aunque la cuenca Laguna de Sayula B cubre el acuífero en menor proporción.

La cuenca hidrológica El Rosario drena una superficie de 1,696.4 kilómetros cuadrados, y se encuentra delimitada al norte por la cuenca hidrológica Las Piedras, al sur y al este por la cuenca hidrológica Canoas y al este por la región hidrológica número 12 Lerma-Santiago, 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 104.741 millones de metros cúbicos, 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 y por la subregión hidrológica Lerma-Chapala, al sur por la cuenca hidrológica Laguna de Zapotlán, al este por la subregión hidrológica Lerma-Chapala y 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.

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 Las Puenteillas, El Agua Fría, Río Jiquilpan y Las Ánimas.

2.4 Geomorfología

Es compleja la geomorfología de este acuífero, ya que se encuentra conformado por llanuras aluviales de piso rocoso o cementado, lomerío de tobas con cañadas, así como con sierras volcánicas con estrato volcanes o estrato volcanes aislados y sierras volcánicas de laderas tendidas.

3. GEOLOGÍA

En la zona del acuífero afloran principalmente rocas ígneas extrusivas como la toba ácida, toba intermedia y basalto. En las laderas hay presencia de rocas sedimentarias entre las cuales se identifican areniscas-conglomerados y suelos aluviales, que son permeables (Figura 2).

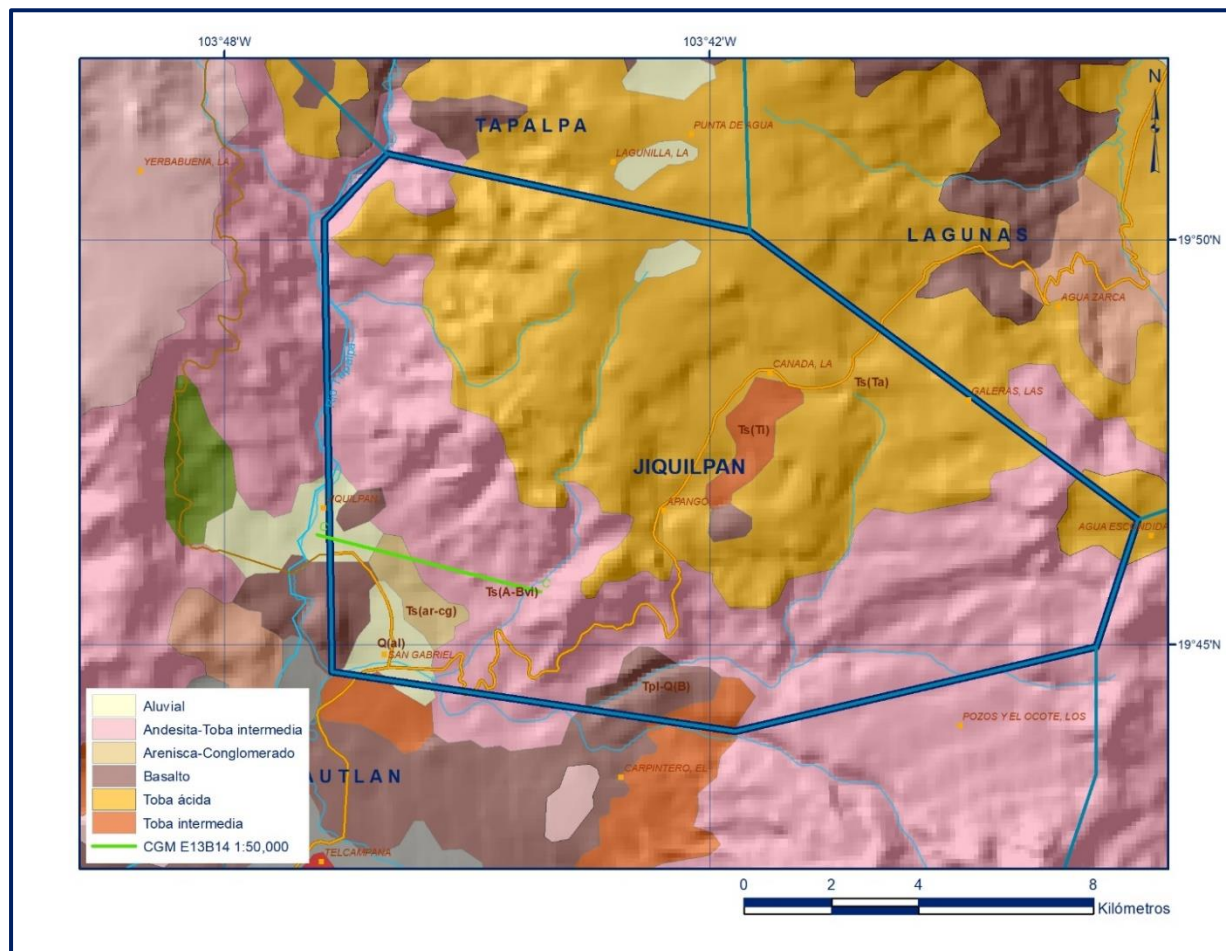


Figura 2. Geología general del acuífero

3.1 Estratigrafía

La secuencia de rocas expuestas en la región, cuyas edades varían del Cretácico al Reciente (Carta Geológico-Minera E13-B14 “Tapalpa”, Jalisco. Esc. 1:50,000, SGM 2008), se menciona a continuación:

Mesozoico

Cretácico – Inferior - Berriasiano

Arenisca – Lutita (KbehAr-Lu)

Estratigráficamente, en la zona, aflora una parte de la secuencia más antigua relacionada con la evolución del arco de islas Zihuatanejo, el cual forma parte del terreno Guerrero. La secuencia está representada por las formaciones Alberca, Tecalitlán y Tepaltepec.

La Formación Alberca, es una roca sedimentaria, tentativamente se considera la base del arco de islas Zihuatanejo, constituida por una alternancia de areniscas-lutitas, lutitas negras, andesitas y tobas andesíticas, está afectada por un intrusivo diorítico, provocando un ligero metamorfismo a hornfels, subyace, en aparente transición y en algunas localidades en contacto tectónico, a la Formación Tecalitlán, es considerada localmente como la base de la cuenca Colima-Jalisco.

Aptiano

Tecalitlán (KhapBvA-A)

Aflorando en la parte suroeste de la zona, se tiene la Formación Tecalitlán, constituida, hacia la base y en diferentes niveles, por una brecha andesítica con fragmentos subangulosos a subredondeados de andesita afanítica a porfídica. La brecha presenta intercalaciones de andesita afanítica a fanerítica, niveles de toba andesítica, toba riolítica y/o dacítica. Le sobreyace, en aparente discordancia, el conglomerado polimíctico de la Formación Tepalcatepec.

Cretácico - Superior

Diorita (KsD)

Intrusionando a las unidades cretácicas preexistentes, se tiene un cuerpo intrusivo de diorita, de textura fanerítica, porfídica, equigranular, estructura compacta y masiva, constituido por plagioclasa en su variedad albita, oligoclasa, andesina, cuarzo, ferromagnesianos, hornblenda, biotita, apatito, clorita y epidota, con colores que varían de gris, gris claro y verde claro en roca sana, con variaciones a granodiorita y

granito.

Cenozoico - Neógeno

Plioceno

Andesita – Basalto (TplA-B)

Conformando lo que se denomina bloque Jalisco, se tiene la unidad de andesita-basalto, es una roca extrusiva que varía en composición de andesita, andesita-basalto y basalto de olivino, presentan textura fanerítica, afanítica, estructura compacta y en parte masiva; se observan intercalaciones de paquetes de ceniza volcánica. Sobreyace, en discordancia, a las unidades cretácicas preexistentes formando amplias mesetas y conos volcánicos.

Cuaternario

Pleistoceno

Piroclasto (TplQptPc)

Con este nombre se ha designado a los flujos relacionados con la actividad de los volcanes Tancítaro y Cántaro. En general los flujos del Volcán Tancítaro están constituidos por diferentes unidades de flujo. En todos los casos los clastos provenientes de la destrucción del cono principal son de composición andesítica soportados por una matriz de ceniza fina de color gris. Los clastos son de diferentes tamaños dependiendo de su proximidad o lejanía de la fuente. Los fragmentos gruesos llegan a tener diámetros de 0.30 m. En ocasiones forman unidades bien definidas de menos de 2 m de espesor (e.g. en el poblado de Las Lomas, en extremo NW de la carta Tancítaro esc. 1: 50,000).

Arena – Piroclasto (QptAr-Pc)

Es una roca sedimentaria conformada de una alternancia de arenisca, conglomerado polimíctico y horizontes de ceniza volcánica; poco compacto y subhorizontal.

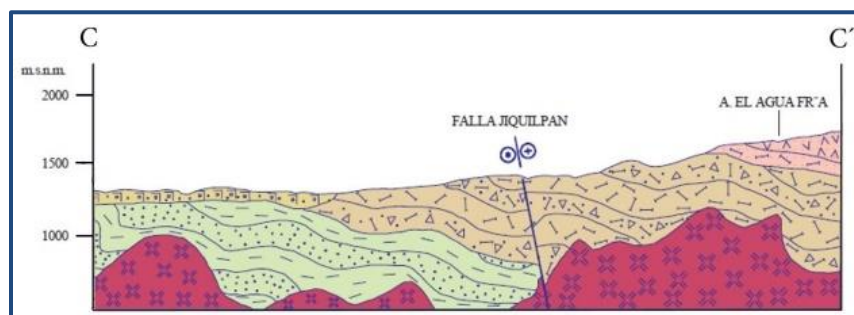
3.2 Geología estructural

Existen dos tipos de deformación: dúctil-frágil y frágil, La deformación dúctil-frágil fue originada por procesos compresivos regionales, provocando plegamientos en las unidades vulcanosedimentarias y sedimentarias arenoarcillosas. La deformación frágil está representada por fallamiento de tipo normal que afectan a las unidades aflorantes en el área. Dentro del fallamiento normal, de rumbo SW-NE, se tiene Punto de Agua; existe también una falla NW – SE de tipo lateral llamada Falla Jiquilpan.

3.3 Geología del subsuelo

La parte basamental de la zona se encuentra constituida por la intrusión de diorita, así como, en algunas regiones, por arenisca – lutita perteneciente a la Formación Alberca, la cual es una unidad de lutitas negras, tobas de color claro, areniscas ligeramente calcáreas y calizas negras arcillosas dispuestas en estratos delgados de 0.05 m - 0.10 m de espesor.

Sobreyaciendo lo anterior, se pueden observar brechas andesíticas pertenecientes a la formación Feclaitlán, donde esta formación fue propuesta informalmente para referirse a una secuencia de rocas volcánicas constituida por ignimbritas, aglomerados, tobas líticas, derrames andesíticos. Como se observa es un medio fracturado por lo que tiene un mayor potencial hidrogeológico (figura 3).



Fuente: Carta Geológico-Minera E13-B14 "Tapalpa". Esc. 1:50,000 (SGM, 2008)

Figura 3. Sección geológica esquemática

4. HIDROGEOLOGÍA

4.1 Tipo de acuífero

En el subsuelo de los valles las rocas consolidadas y no fracturadas abajo del nivel regional de saturación forma barreras para el flujo de agua subterránea, como los derrames andesíticos. Los derrames de rocas no fracturadas intercaladas con relleno aluvial en diferentes profundidades forman acuíferos locales independientes en rocas adyacentes. En las partes más bajas de la cuenca, los acuíferos alojados en derrames volcánicos fracturados están cubiertos por depósitos lacustres y aluviales de menor permeabilidad, que los confinan. Este tipo de acuífero se caracteriza por un coeficiente de almacenamiento bajo, debido a su virtual incompresibilidad.

Los piroclastos presentan alta porosidad, aunque su permeabilidad sea baja; en la zona de saturación funcionan como **acuitardos**, los cuales a escala regional pueden producir o transmitir grandes cantidades de agua a los acuíferos adyacentes. Estos

materiales abundan en la base de los volcanes, aunque con un espesor menor, son menos porosos y más permeables que los que se localizan en la parte superior. Los materiales aluviales no consolidados, gravas, arenas y sedimentos finos, están ampliamente expuestos en los valles y forman acuíferos someros. Su permeabilidad y transmisividad varía de acuerdo con el tamaño del grano y del espesor.

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:

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

5.1 Entradas

Las entradas al acuífero Jiquilpan 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 (162.2 km²) por la lámina de precipitación media anual (754.8 mm):

$$V_{LL} = 162.2 \text{ km}^2 (0.7548 \text{ m}) = 122.4 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de 754.8 mm y temperatura de 16.4 °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 (289.2). 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 **605 mm anuales**.

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

$$V_{ETR} = 162.2 \text{ km}^2 (0.605 \text{ m}) = 98.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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

$$C_e = 0.148$$

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 (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 Jiquilpan predominan los siguientes tipos de suelo: Cambisol, Regosol y Vertisol, que se clasificaron en tres tipos de suelo: A, B y C (figura 4).

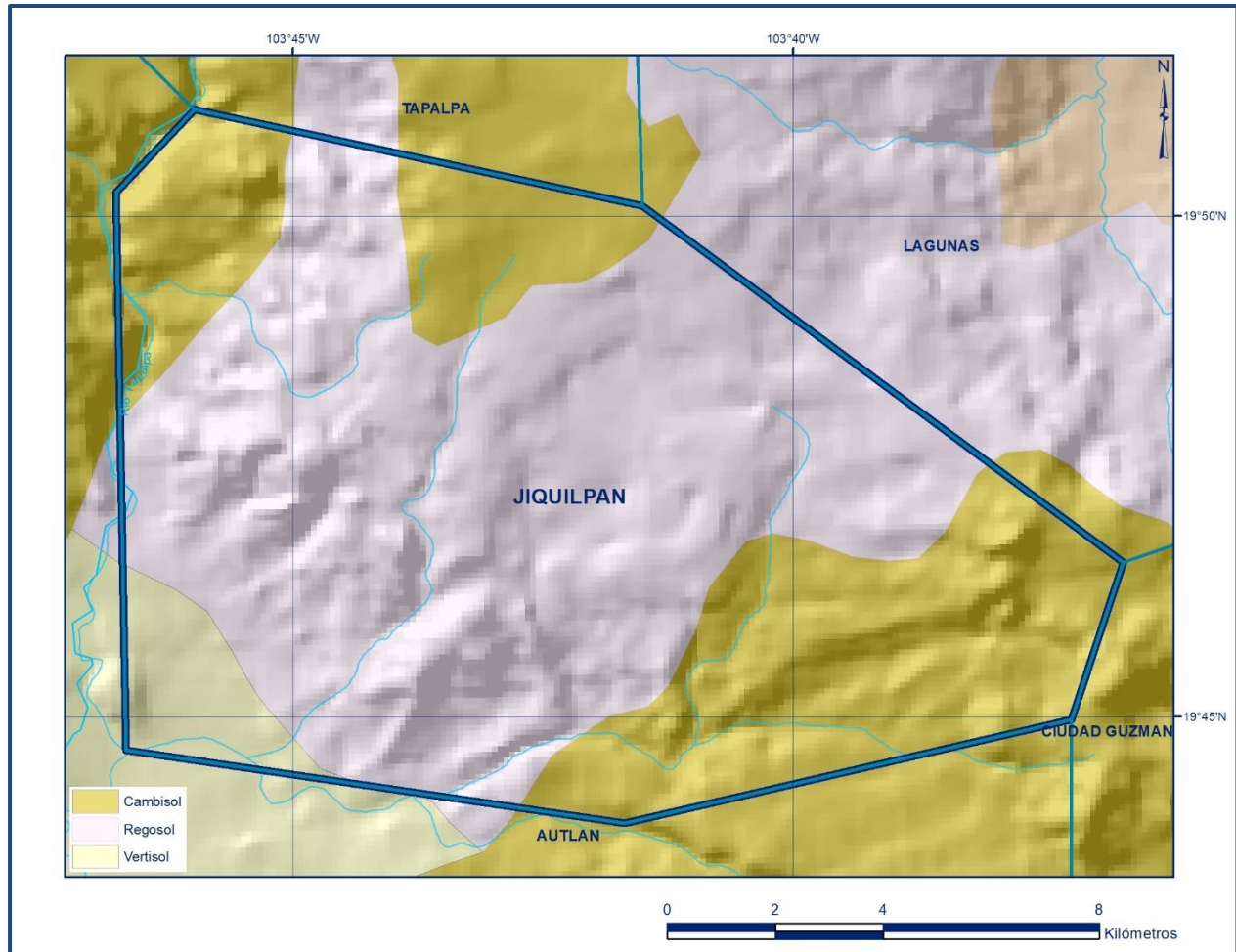


Figura 4. Tipo de suelo

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, asentamientos humanos, bosque, otros tipos y pastizal (figura 5).

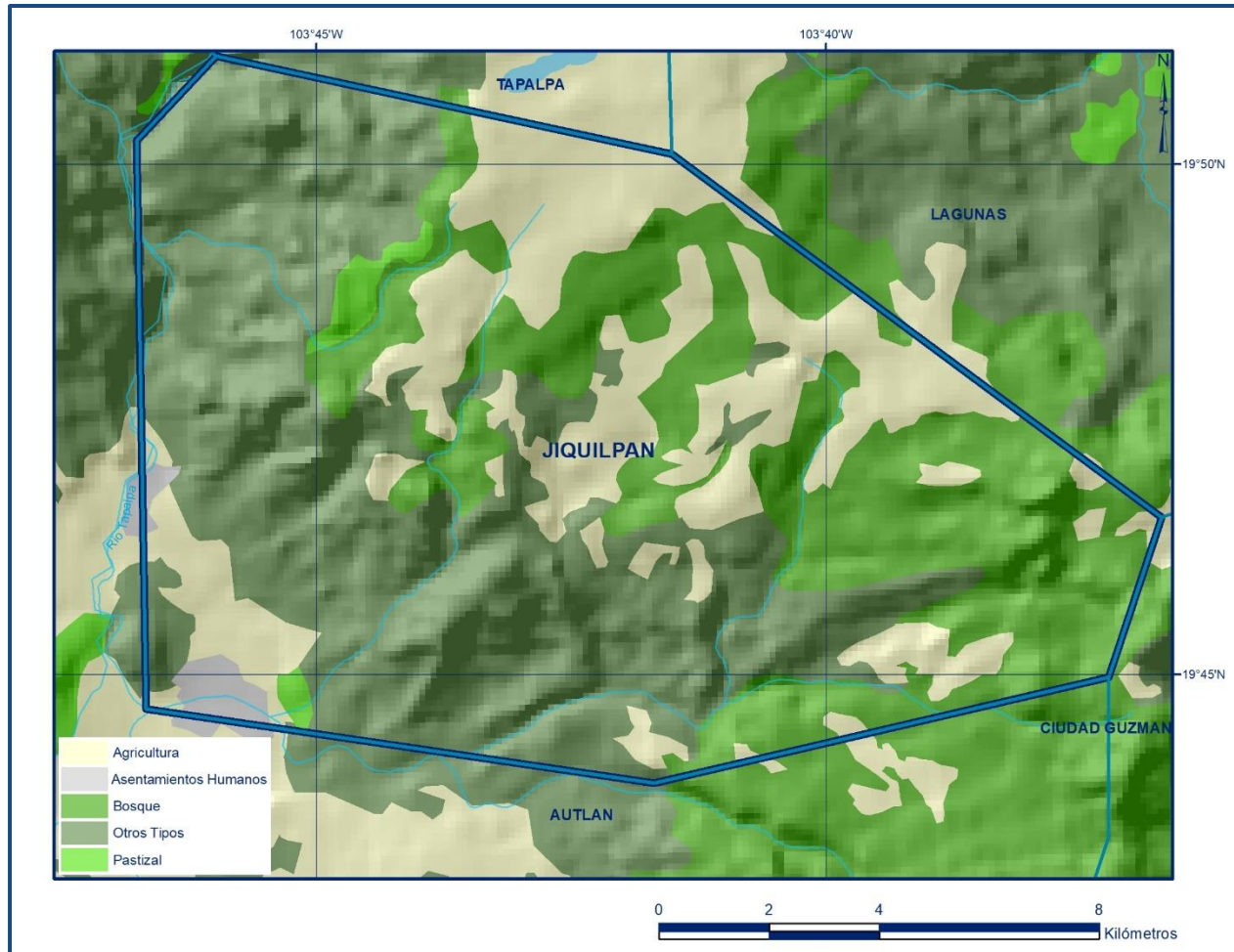


Figura 5. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.27, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (C_e):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$\mathbf{C_e = 0.148}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.148 (122.4 \text{ hm}^3) = 18.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

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

$$V_{INF} = 122.4 - 98.1 - 18.1$$

$$V_{INF} = 6.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 122.4 hm³/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0507.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 6.2 hm³/año en 162.2 km² de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 6.2 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 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 **7.3 hm³ anuales**, a la fecha de corte del 30 de diciembre del 2022.

5.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

Se identificó la existencia de manantiales, que en conjunto descargan un caudal de 14.61 l/s, que representan un volumen de **0.5 hm³ 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	=	RECARGA	-	DESCARGA	-	EXTRACCIÓN DE
MEDIA ANUAL DE		TOTAL		NATURAL		AGUAS
AGUA DEL SUBSUELO		MEDIA		COMPROMETIDA		SUBTERRÁNEAS
EN UN ACUÍFERO		ANUAL				

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 **6.2 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 = 0.5 hm³ anuales**, correspondiente a la descarga de manantiales.

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 **7'267,455 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.

$$\begin{aligned}\text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 6.2 - 0.5 - 7.267455 \\ \text{DMA} &= -1.567455 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **1'567,455 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

7. BIBLIOGRAFÍA

Servicio Geológico Mexicano, 2008. Carta Geológico-Minera E13-B14 "Tapalpa". Esc. 1:50,000. 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>