



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO DOCTOR ARROYO (1923), ESTADO DE  
NUEVO LEÓN**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Provincia fisiográfica.....	4
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía.....	5
2.4 Geomorfología.....	6
<b>3. GEOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
3.1 Estratigrafía.....	7
3.2 Geología estructural.....	9
3.3 Geología del subsuelo.....	9
<b>4. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
4.1 Tipo de acuífero.....	10
<b>5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>11</b>
5.1 Entradas.....	11
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	11
5.2 Salidas.....	17
5.2.1 Bombeo (B).....	17
<b>6. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>17</b>
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
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>20</b>

## **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 Doctor Arroyo, definido con la clave 1923 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Nuevo León, entre las coordenadas 23°21' y 23°47' de latitud norte y 100°04' y 100°28' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 802.04 km<sup>2</sup> (figura 1).

Limita al norte con los acuíferos Santa Rita-Cruz de Elorza y Sandia-La Unión en el estado de Nuevo León; al sur con los acuíferos Buenavista y Matehuala-Huizache en el

Estado de San Luis Potosí; al este la colindancia es con el acuífero Sandía-La Unión en Nuevo León y Buenavista en San Luis Potosí; y al oeste la colindancia es con el acuífero Santa Rita-Cruz de Elorza en el estado de Nuevo León.

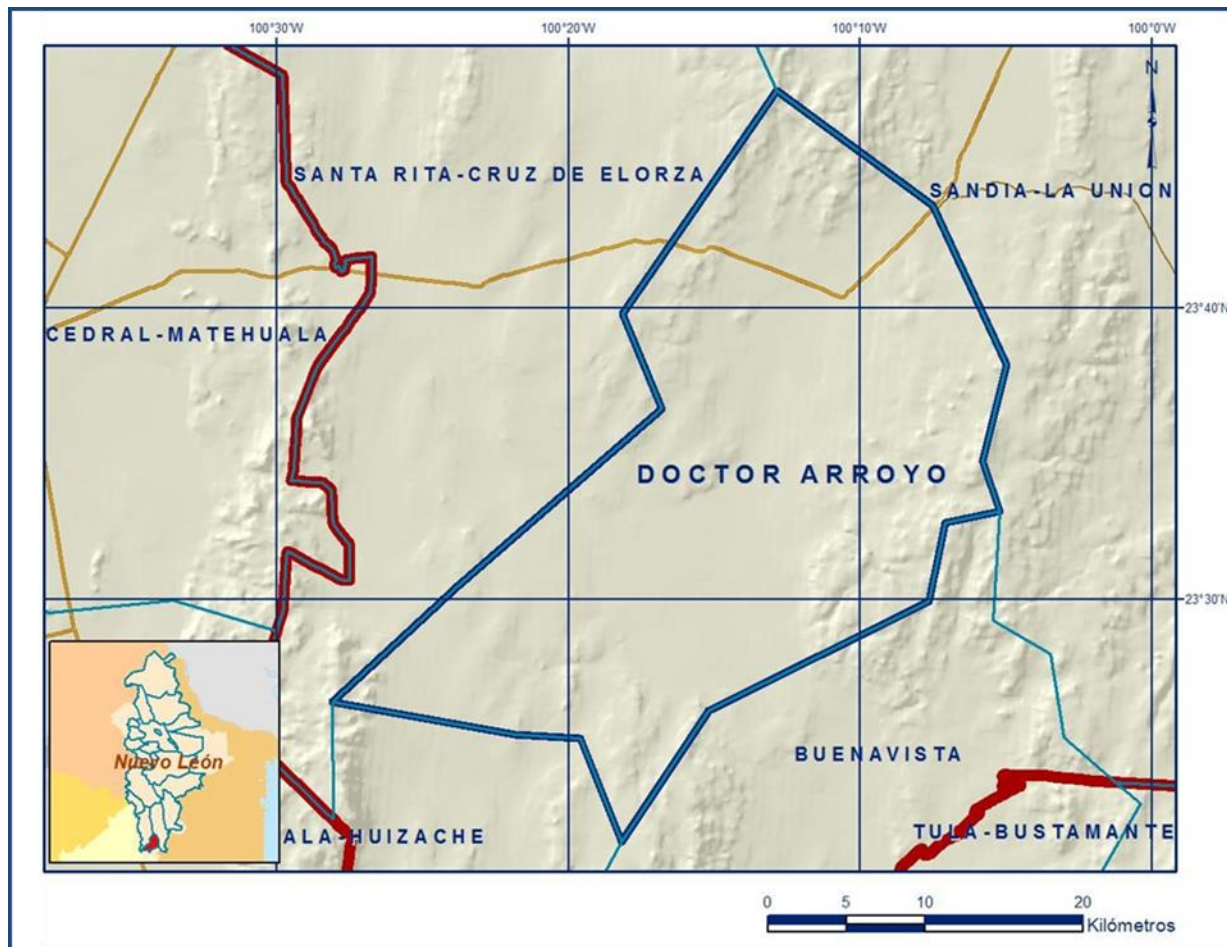


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente el acuífero se localiza en los municipios del estado de Nuevo León, el municipio Mier y Noriega y Doctor Arroyo.

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimita el acuífero

ACUIFERO 1923 DOCTOR ARROYO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	100	5	11.7	23	33	1.9
2	100	7	4.9	23	32	39.0
3	100	7	38.1	23	29	56.1
4	100	15	11.8	23	26	11.1
5	100	18	11.5	23	21	42.5
6	100	19	36.5	23	25	15.4
7	100	21	49.3	23	25	22.1
8	100	28	6.3	23	26	29.3
9	100	23	47.5	23	30	27.8
10	100	16	48.3	23	36	32.6
11	100	18	9.7	23	39	47.3
12	100	12	51.9	23	47	27.0
13	100	7	30.8	23	43	29.8
14	100	4	57.9	23	38	4.4
15	100	5	47.5	23	34	43.6
1	100	5	11.7	23	33	1.9

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Doctor Arroyo pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte”, y al Consejo de Cuenca Del Altiplano instalado el 23 de noviembre de 1999. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4.

## 2. FISIOGRAFÍA

### 2.1 Provincia fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie del acuífero se ubica en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Oriental”.

La provincia Sierra Madre Oriental es un sistema montañoso, constituido principalmente de rocas mesozoicas sedimentarias plegadas, extendido desde el norte de Coahuila hasta el paralelo 20 en la costa de Veracruz. Aunque la estructura geológica es homogénea en toda su extensión, el relieve presenta diferencias notables debido a las condiciones climáticas que son gradualmente húmedas hacia el Sur. Por esto, en el Norte son comunes los relieves de crestas alargadas limitadas con

pedimentos o disecadas por valles intermontanos, controlados por la estructura geológica.

La zona del acuífero se encuentra en la subprovincia “Sierras y Llanuras Occidentales”, esta comprende el occidente de la mitad sur de la Sierra Madre Occidental. En esta Subprovincia se tienen sierras en las que predominan rocas calizas, orientales norte-sur y generalmente enlazadas por brazos cerriles que siguen la misma dirección o son oblicuos a las sierras. Esta configuración produce una especie de red de sierras entre las cuales hay espacios planos (llanuras) cubiertos de aluvión. Las llanuras del norte se encuentran a unos 2,000 msnm; las del, sur, a unos 1,500 m.

## **2.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Koppen, modificada por E. García (1981), para las condiciones de la República Mexicana, el clima que predomina en la mayor parte del acuífero es el semiárido semicálido (BS1h(x')) de temperatura media anual mayor a los 18 °C, temperatura del mes más frío menor a los 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor a los 22 °C, Lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual; otro clima que se presenta es el semiárido templado (BS1k(x')) de temperatura media anual entre los 12 y 18 °C, registros de temperatura del mes más frío de entre -3 y 18°C, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 3 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero determinada por medio del método de polígonos de Thiessen, estas estaciones son: Mier y Noriega SMN (19046), San Antonio Peña Nevada (19159) y El Carmen (24162) las dos primeras en el estado de Nuevo León y la última en San Luis Potosí, con registros para el periodo 1989-2010 (21 años), donde se determinan los valores ponderados promedio anuales de precipitación y temperatura que corresponden a **423 mm** y **18.3°C** respectivamente.

## **2.3 Hidrografía**

El territorio que comprende el acuífero se encuentra ubicado dentro de la Región Hidrológica No. 37 “El Salado”, Subregión Hidrológica del mismo nombre, Cuenca La Tula, Subcuenca Doctor Arroyo, debido a la zona en la que se encuentra no cuenta con ríos de gran caudal, la mayoría de los afluentes son de primer orden algunos son: Ojo

de Agua, La Tijera, Arroyo de los Hoyos, Arroyo de San Juan, Las Peñas, El Lagarto, etc.

## **2.4 Geomorfología**

El relieve de la zona, aunque pertenece a la provincia Sierra Madre Oriental sistema que responde a un paisaje montañoso presenta diferencias notables debido a condiciones climáticas que son gradualmente húmedas hacia el Sur. Por esto, en el Norte son comunes los relieves de crestas alargadas limitadas con pedimentos o disecadas por valles intermontanos.

## **3. GEOLOGÍA**

La estratigrafía de la zona comprende unidades sedimentarias marinas cretácicas y depósitos clásticos continentales cenozoicos y cuaternarios, estos últimos con un depósito piroclástico intercalado. Se tienen en la zona secuencias de caliza arcillosa en capas delgadas con intercalaciones de terrígenos y bandas de pedernal negro interaccionando con capas de calizas; sobre las secuencias sedimentarias marinas, se desarrollaron depósitos clásticos continentales constituidos por clastos de caliza, marga, lutita, arenisca y pedernal, mal clasificados, bien consolidados, llegando a formar un conglomerado polimíctico.

Se cuenta con un único afloramiento de toba riolítica depósito de un lapso volcánico de zonas aledañas, finalmente, rellenando los valles y partes topográficamente bajas, afloran depósitos limo-grava (figura 2).

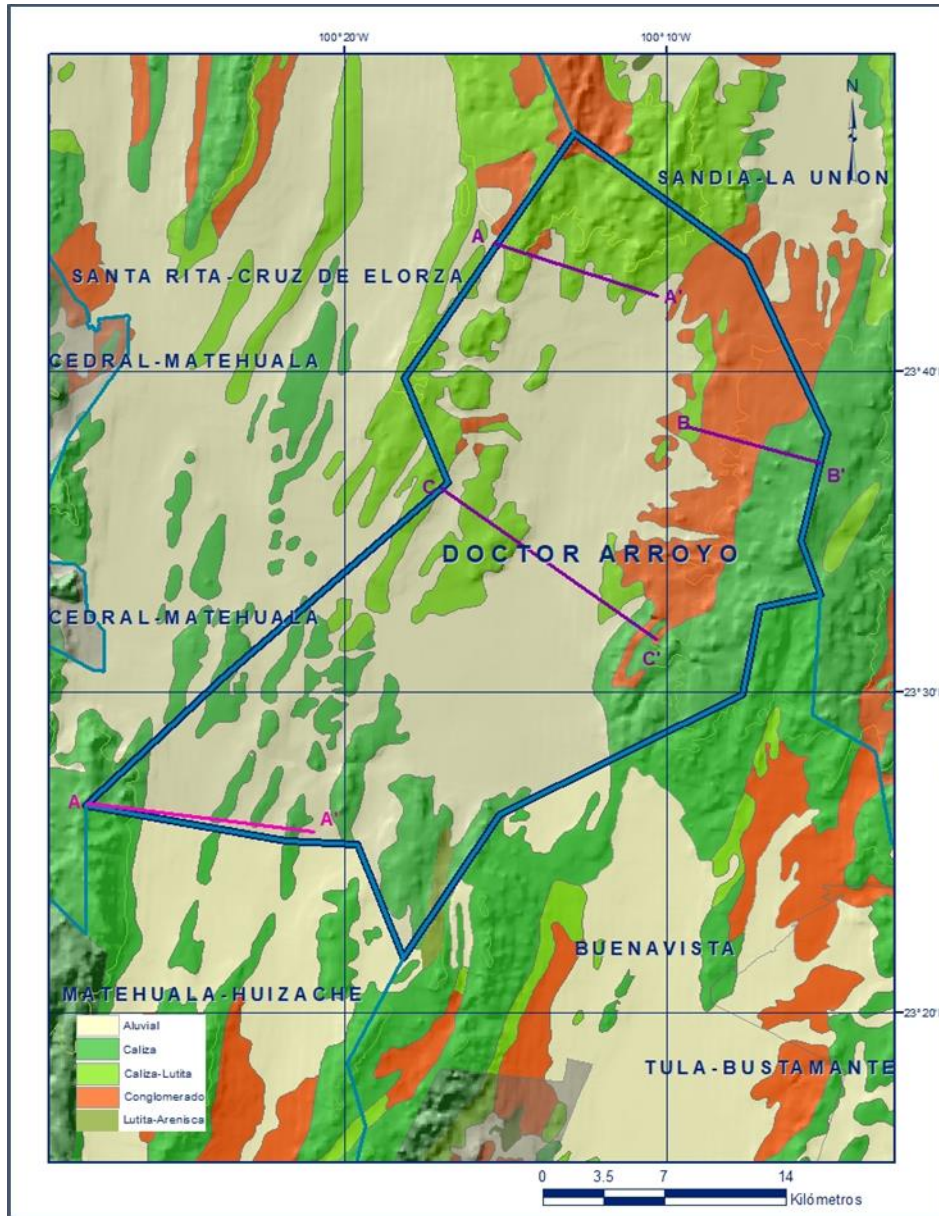


Figura 2. Geología general del acuífero

### 3.1 Estratigrafía

A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero.

#### Cretácico Inferior

##### Hauteriviano-Aptiano

Las rocas más antiguas están representadas por la Formación Cupido (KhapCz), de edad Hauteriviano-Aptiano, constituida por bancos mudstone en estratos medianos a



gruesos, con lentes y nódulos de pedernal así como nódulos de marcasita; sus dos únicos afloramientos tienen dimensiones contrastantes, el de mayor extensión se localiza al oriente del Poblado Agua Nueva, forma el núcleo del anticlinal Palma Gorda en una superficie aproximada de 8 km<sup>2</sup>, mientras que al sur de la ranchería Las Palomas, se manifiesta como el núcleo de otro anticlinal de menos de 1 km<sup>2</sup>.

Sobreyace, transicionalmente, a la Formación Cupido una secuencia de caliza arcillosa en capas delgadas con intercalaciones de terrígenos y bandas de pedernal negro, de edad Aptiano, correspondiente a la Formación La Peña (KapCz-Lu), que a su vez es sobreyacida concordante y transicionalmente por capas medianas a delgadas de caliza de textura wackestone, con bandas de pedernal negro e intercalaciones de terrígenos, de edad Albiano-Cenomaniano, denominada como Formación Cuesta del cura (KaceCz-Lu), unidad expuesta, al igual que el resto de las unidades cretácicas. Esta formación se encuentra en forma interdigitada con la Formación Tamabra (Kapc(?)Cz-Bro), compuesta por capas medianas de caliza mal estratificada y brecha oligomíctica de composición calcárea.

### **Cretácico Superior**

#### **Cenomaniano-Turoniano**

En el lapso del Cenomaniano-Turoniano, de manera transicional y concordante sobre la Formación Cuesta del Cura continúo el depósito de carbonatos en ambiente de cuenca, representados por capas medianas, delgadas y lajosas con intercalaciones de lutita, de edad Cenomaniano-Turoniano, que constituyen a la Formación Indidura (KcetCz-Lu), la cual es suprayacida por una secuencia areno-arcillosa formada en ambiente misto que define a la unidad Caracol (KcomAr-Lu), con esta unidad culmina regionalmente el depósito de sedimentos en la cuenca Mesozoica del Centro de México.

### **Cenozoico-Cuaternario**

#### **Mioceno-Plioceno-Holoceno**

Discordantemente sobre las secuencias sedimentarias marinas, se desarrollaron depósitos clásticos continentales constituidos por clastos de caliza, margas, lutita, arenisca y pedernal, mal clasificados, bien consolidados, llegando a formar un conglomerado polimíctico (TmplCgp), cuya edad es posiblemente Mioceno-Plioceno, se encuentra bordeando el flanco poniente de la sierra Agua Nueva, finalmente, rellenando los valles y partes topográficamente bajas, afloran depósitos limo-grava

(TplQholm-gv), del Plioceno al Holoceno, lapso en el que ocurre actividad volcánica en zonas aledañas, reflejándose por el depósito de toba riolítica (Qpt(?)TR), cuyo único afloramiento es muy reducido, se encuentra en dirección occidental, al noroeste de San Isidro de Fernández.

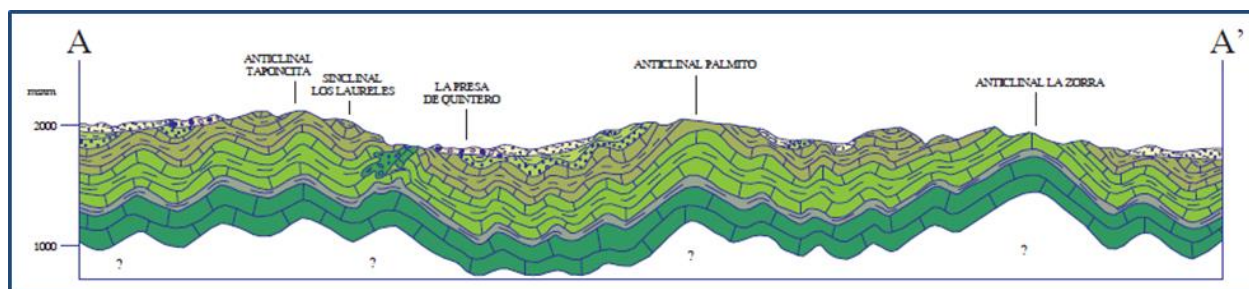
### 3.2 Geología estructural

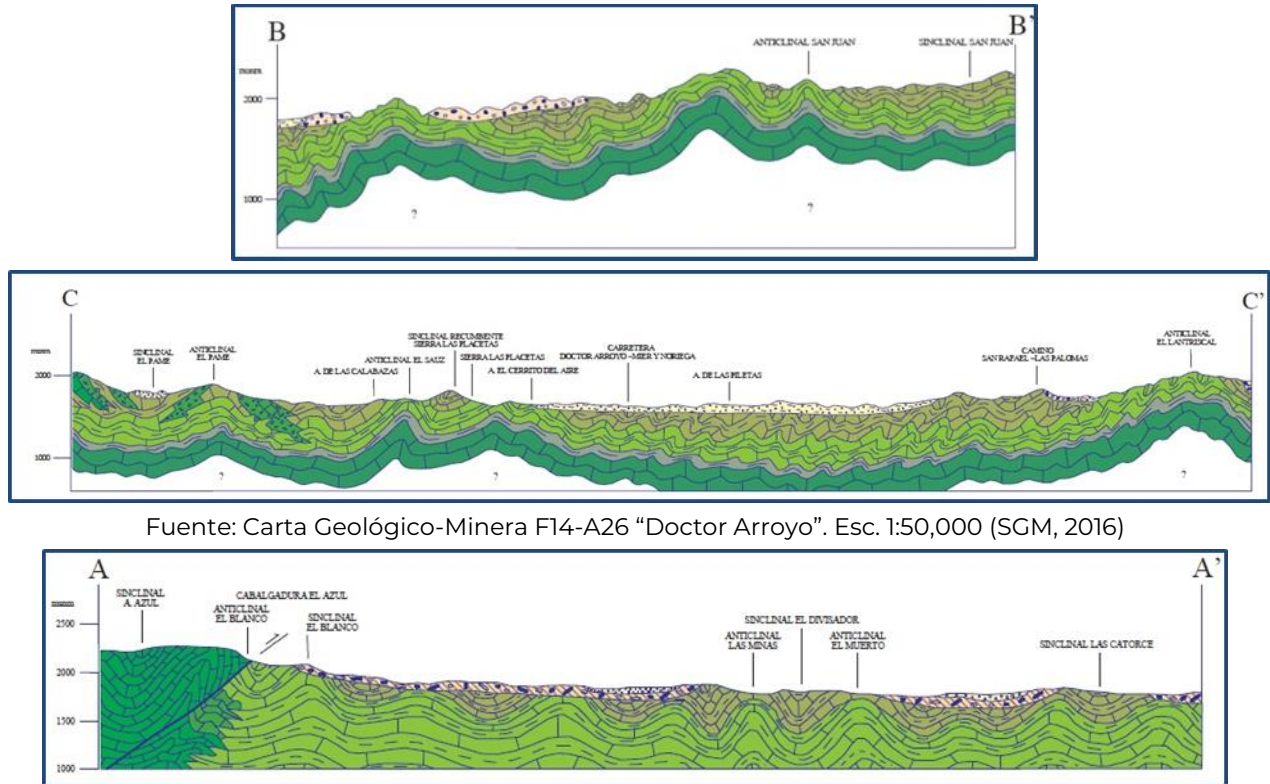
Los rasgos estructurales de la región están representados por lo menos por dos eventos de deformación, el primero fue un carácter compresivo y el segundo relacionado a fases distensivas. La primera deformación corresponde a la orogenia Laramide, sucedida al final el Cretácico y principios del Cenozoico, la cual entre otros efectos ocasionó numerosos plegamientos cuyos ejes de simetría guardan orientación norte-sur a N18° E, formando anticlinales y sinclinales asimétricos. El segundo evento de deformación está representado por dos sistemas de fallamiento de tipo normal, uno con orientación general NW-SE y el segundo, considerado más reciente, de rumbo NE-SW.

### 3.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de cortes litológicos se determina que el acuífero está constituido de la siguiente manera:

El acuífero se encuentra en capas de caliza arcillosa delgadas con intercalaciones de terrígenos y bandas de pedernal negro interaccionando con capas de calizas, depósitos clásticos continentales constituidos por clastos de caliza, marga, lutita, arenisca y pedernal consolidados formando conglomerado polimíctico con rellenos de depósitos de limo-grava (figura 3).





Fuente: Carta Geológico-Minera F14-A26 "Doctor Arroyo". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)

Fuente: Carta Geológico-Minera F14-A235 "Sierra el Azul". Esc. 1:50,000 (SGM, 2012)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

#### 4. HIDROGEOLOGÍA

##### 4.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer que el sistema del acuífero es del **tipo semiconfinado a libre**, debido a la composición en la que se encuentra constituido, el semiconfinamiento se debe principalmente diferentes estratos de rocas calizas compuestas con lutita y arenisca. Esta característica también se debe a que se encuentran extensiones considerables cubiertas por rellenos de limo-grava.

Sin embargo, en la periferia del territorio del acuífero se encuentran algunas fallas localizadas en los afloramientos de caliza, fallas de tamaños menores, estas representan zona de recarga y rasgos de que en esas zonas funcione como un acuífero libre.

## **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:

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

### **5.1 Entradas**

Las entradas al acuífero Doctor Arroyo 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. La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo hechos se encuentra dispersa en tiempo y espacio, 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 **801.3 km<sup>2</sup>** 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:

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

Donde:

$V_{LL}$  = Volumen de lluvia;

$V_{ETR}$  = Volumen evapotranspirado;

$V_{ESC}$  = Volumen escurrido;

$V_{INF}$  = Volumen infiltrado;

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

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

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área (801.3 km<sup>2</sup>) por la lámina de precipitación media anual (423 mm):

$$V_{LL} = 801.3 \text{ km}^2 (0.423 \text{ m}) = 338.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Por otro lado, para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Coutagne, considerando los mismos valores de PMA y TMA.

<b>COUTAGNE</b>	$ETR = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre 1/8X y 1/2X, estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que 1/8λ la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que 1/2λ la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por:  $ETR = 0.20 + 0.035 T$ . Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de **385 mm anuales**.

Se optó por la estimación conservadora de la infiltración que se obtiene al tomar en cuenta la lámina de evapotranspiración obtenida con la fórmula de Coutagne, que es de 385 mm anuales; por lo que el volumen de la ETR ( $V_{ETR}$ ) es:

$$V_{ETR} = 801.3 \text{ km}^2 (0.385 \text{ m}) = 308.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

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

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<sub>e</sub>** = Coeficiente de escurrimiento anual;

**K** = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

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 Doctor Arroyo predominan los siguientes tipos de suelo: Feozem, Litosol y

Xerosol que se clasificaron en dos tipos de suelo: A y B (figura 4).

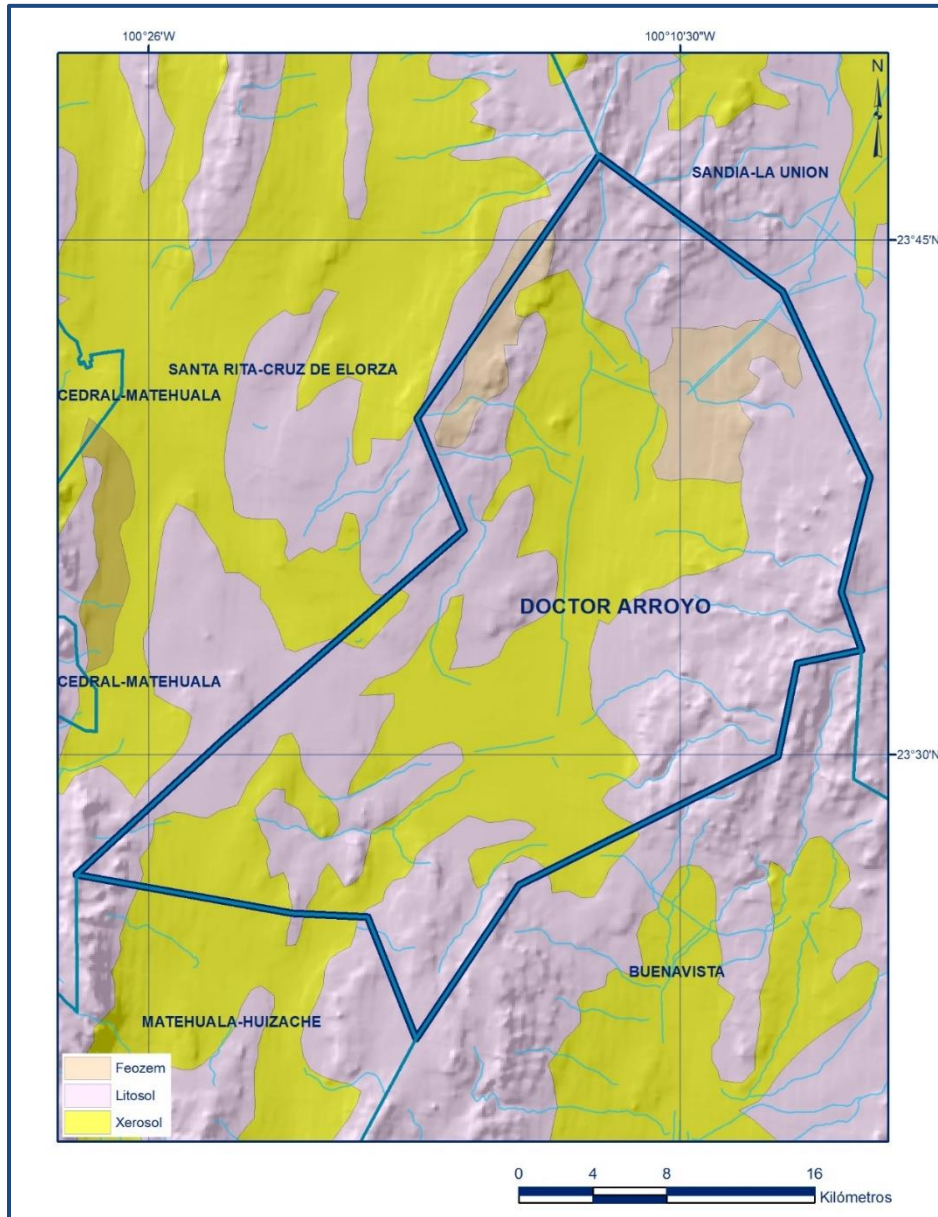


Figura 4. Tipo de suelo

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: agricultura, asentamientos humanos bosque, cuerpos de agua, matorral, otros tipos y pastizal (figura 5).

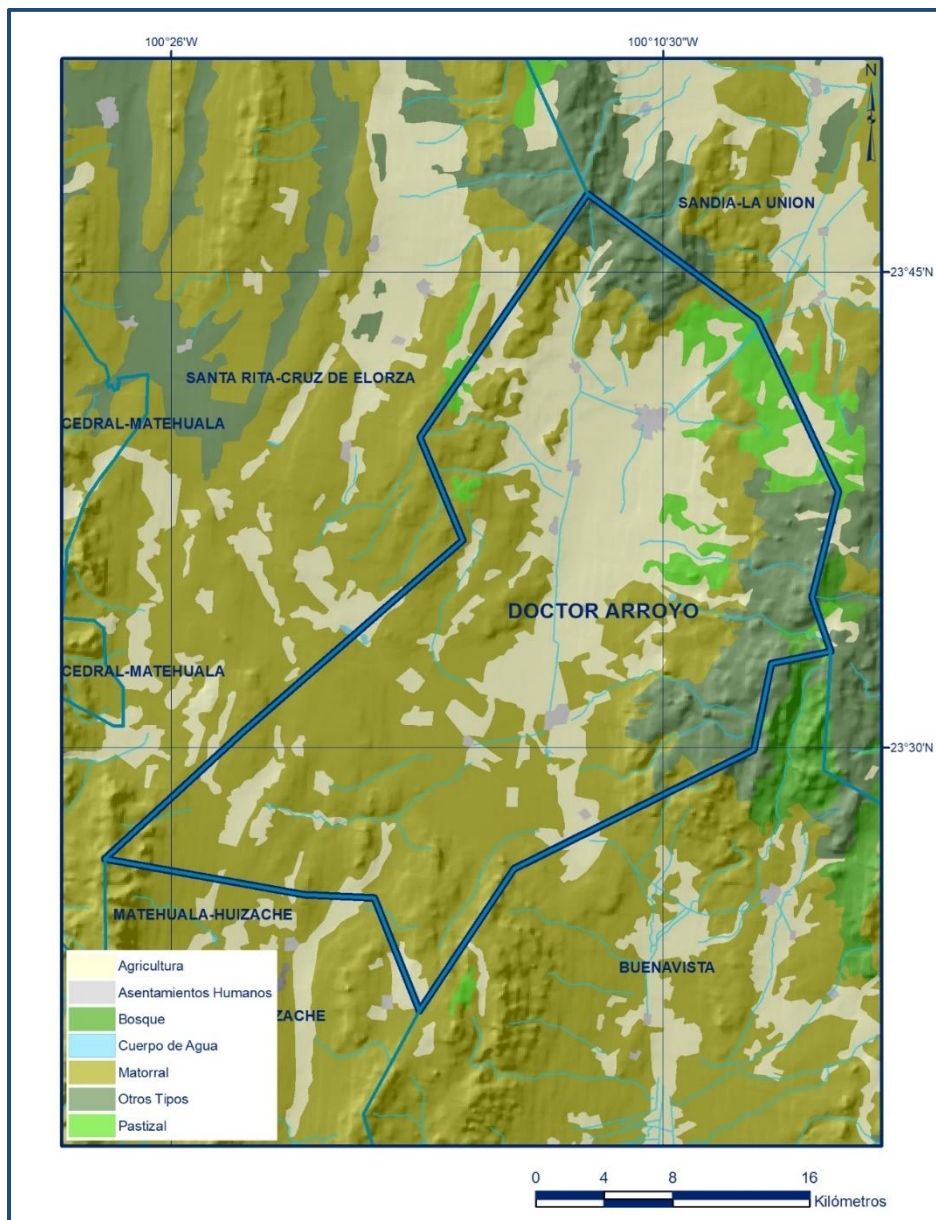


Figura 5. Uso de Suelo



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

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO	TIPO DE SUELO
	A	B	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
Pasízal:			
% 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 esta manera, el valor de K se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.25, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

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

$$Ce = 0.047$$

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

$$V_{ESC} = 0.047 (338.5 \text{ hm}^3) = 15.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\begin{aligned}V_{INF} &= V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)} \\V_{INF} &= 338.5 - 308.5 - 15.9 \\V_{INF} &= 14.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}\end{aligned}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 338.5 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0417. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 14.1 hm<sup>3</sup>/año en los 801.3 km<sup>2</sup> de superficie del acuífero.

Por lo que **Rv = 14.1 hm<sup>3</sup> anuales**

## 5.2 Salidas

Las salidas de agua subterránea estimadas en este balance son las siguientes:

La descarga de un acuífero puede ocurrir principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo (Sh), caudal base de un río y a través de manantiales (DM). La descarga del acuífero corresponde a la que de la extracción registrada por bombeo.

### 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 **1.3 hm<sup>3</sup> 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:

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

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 con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero en recarga vertical.

Para este caso, el valor estimado de esta recarga total media anual que recibe el acuífero es de **14.1 hm<sup>3</sup> 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 Doctor Arroyo no se consideró descarga natural comprometida.

### **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 (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica. En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **1,370,369 m<sup>3</sup>**

**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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 14.1 - 0 - 1.370369 \\ \text{DMA} &= 12.729631 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe disponibilidad de **12,729,631 m<sup>3</sup> anuales** para otorgar nuevas concesiones.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2016. Carta Geológico-Minera “Doctor Arroyo” F14-A26, Escala 1: 50,000.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2012. Carta Geológico-Minera “Sierra El Azul” F14-A35, Escala 1: 50,000.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2001. ACUERDO por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.