



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO SANDIA-LA UNIÓN (1917), 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>5</b>
2.1 Provincia fisiográfica.....	5
2.2 Clima.....	6
2.3 Hidrografía.....	6
2.4 Geomorfología.....	7
<b>3. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1 Estratigrafía.....	8
3.2 Geología estructural.....	10
3.3 Geología del subsuelo.....	10
<b>4. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
4.1 Tipo de acuífero.....	11
<b>5. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>12</b>
5.1 Entradas.....	12
5.1.1 Recarga vertical (Rv).....	12
5.2 Salidas.....	18
5.2.1 Bombeo (B).....	18
<b>6. DISPONIBILIDAD.....</b>	<b>18</b>
6.1 Recarga total media anual (R).....	19
6.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	19
6.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	19
6.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	20
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>21</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 Sandia-La Unión, definido con la clave 1917 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción sur del estado de Nuevo León, entre las coordenadas 23°22' y 24°30' de latitud norte y 99°52' y 100°18' de longitud oeste, abarcando una superficie aproximada de 3022.51 km<sup>2</sup> (figura 1).

Limita al norte con el acuífero Navidad-Potosí-Raíces Nuevo León; al sur con el acuífero Tula-Bustamante Tamaulipas; al este la colindancia es también con el acuífero Tula

Bustamante, Palmillas-Jaumave en el estado de Tamaulipas y Soto La Marina en el estado de Nuevo León; en dirección oeste la colindancia es con los acuíferos Santa Rita-Cruz de Elorza, Doctor Arroyo en el estado de Nuevo León y Buenavista en San Luis Potosí.

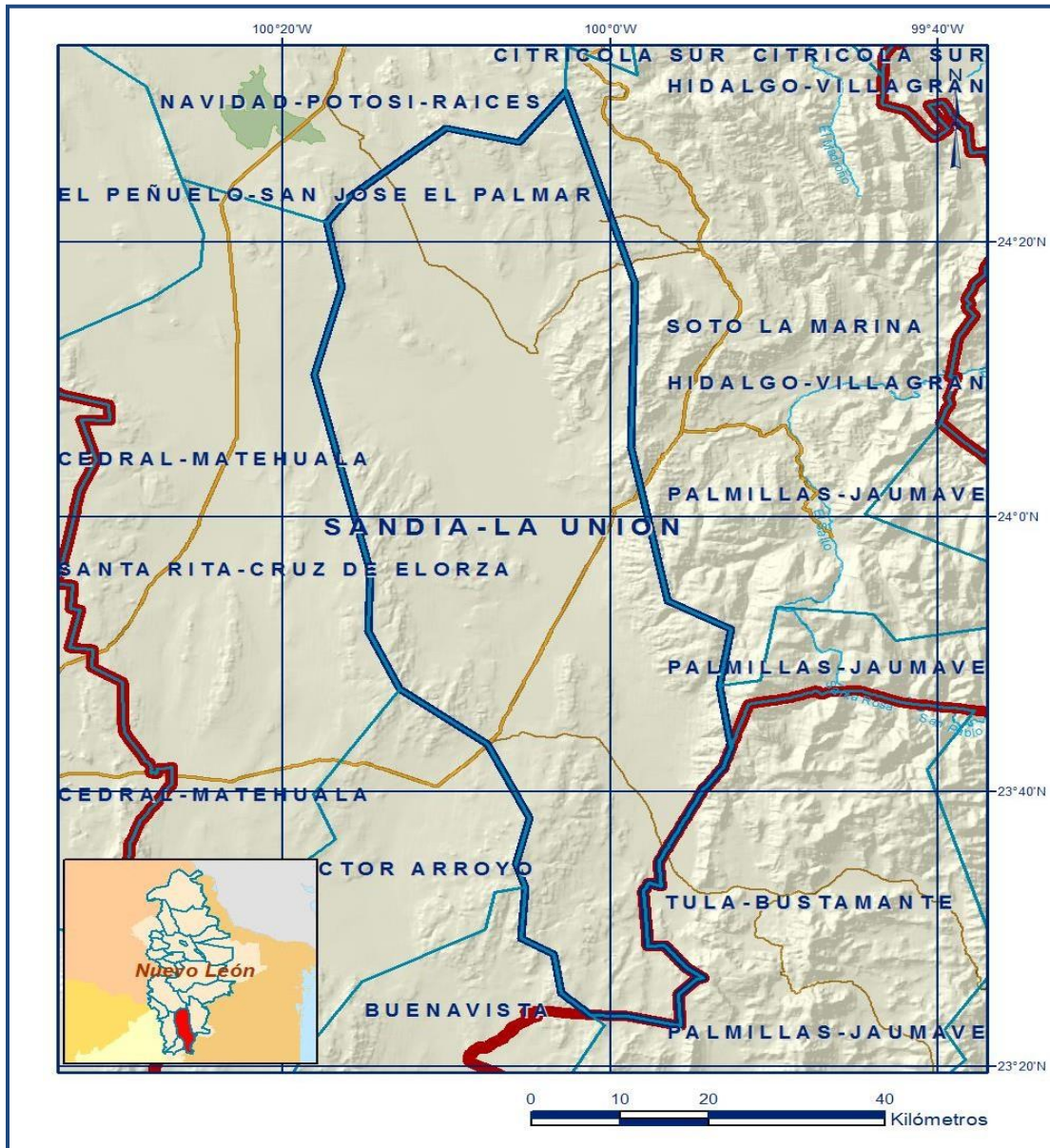


Figura 1. Localización del acuífero

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 1917 SANDIA-LA UNION							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	53	20.9	23	47	43.7	
2	99	52	44.9	23	44	0.6	
3	99	52	37.4	23	43	14.1	DEL 3 AL 4 POR EL LIMITE ESTATAL
4	100	1	13.5	23	23	43.9	
5	100	3	0.0	23	25	17.5	
6	100	3	27.8	23	28	8.9	
7	100	5	26.0	23	29	16.8	
8	100	5	11.7	23	33	1.9	
9	100	5	47.5	23	34	43.6	
10	100	4	57.9	23	38	4.4	
11	100	7	30.8	23	43	29.8	
12	100	12	51.9	23	47	27.0	
13	100	14	48.2	23	51	40.8	
14	100	14	41.1	23	56	1.9	
15	100	18	5.0	24	10	24.2	
16	100	16	23.9	24	16	45.2	
17	100	17	19.0	24	21	26.0	
18	100	15	58.1	24	23	17.6	
19	100	10	2.4	24	28	19.1	
20	100	5	35.0	24	27	19.4	
21	100	2	45.4	24	30	58.8	
22	99	58	31.4	24	17	0.5	
23	99	58	46.9	24	5	6.4	
24	99	56	30.0	23	53	54.7	
25	99	52	38.3	23	51	48.4	
1	99	53	20.9	23	47	43.7	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Sandia-La Unión se encuentra entre dos Organismos de Cuenca que son: VI “Río Bravo” y IX “Golfo Norte”. Parcialmente su territorio se encuentra sujeto a las disposiciones de dos decretos de veda, el decreto de mayor área es el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende los Municipios de Madero, Villagrán, San Carlos y otros del Estado de Tamaulipas, etc.,” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 10 de febrero de 1964. Esta veda es de tipo III, en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Por un territorio de menor extensión el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro del límite geopolítico del Municipio de Galeana, Edo. de Nuevo León, para el mejor control de las extracciones, uso y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha

zona”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de julio de 1978. Esta veda es de tipo II, en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 2.

## **2. FISIOGRAFÍA**

### **2.1 Provincia fisiográfica**

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1964), la superficie del acuífero se ubica en dos provincias fisiográficas “Sierra Madre Oriental”. Al mismo tiempo la zona del acuífero se encuentra en dos subprovincias fisiográficas “Sierras y Llanuras Occidentales” y la denominada “Gran Sierra Plegada”.

La provincia Sierra Madre Oriental tiene montañas constituidas por rocas sedimentarias de origen marino, calizas y lutitas, principalmente de la era mesozoica; los estratos de estas rocas están doblados a manera de grandes pliegues que forman una sucesión de crestas alternadas con bajos; las cumbres oscilan entre los 2,000 y 3000 m.

La subprovincia “Gran Sierra Plegada”, esta representa el macizo principal de la Sierra Madre Oriental, y es tal vez su subprovincia fisiográfica más distintiva y representativa. Está conformada por una serie continua de imponentes anticlinales y sinclinales de marcada verticalidad y que son la manifestación física del plegamiento de la corteza terrestre ocurrida durante el evento orogénico que dio origen a estas montañas. Aquí es donde se presentan las mayores elevaciones, alcanzando un máximo de 3700 msnm y un promedio alrededor de los 2,200 msnm.

La subprovincia “Sierras y Llanuras Occidentales” 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 aluvi6n. 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 árido templado (BSok(x')) de temperatura del mes más frío entre los -3 y 18 °C y menor de 22 °C en el mes más caliente, lluvias repartidas todo el año y porcentaje de lluvias invernales mayor al 18% del total anual; en la zona se registra otro clima denominado en esta clasificación como semiárido templado (BS1k(x')) de temperatura media anual entre los 12 y 18 °C, y registros de temperatura del mes más frío y más caliente igual al clima predominante, pero de condiciones de precipitación diferentes por presentar lluvias de verano.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó la información de 10 estaciones climatológicas que tienen influencia en la superficie del acuífero determinadas por medio del método de polígonos de Thiessen, estas estaciones son: Mier y Noriega (19046), San Antonio Peña Nevada (19159), La Cardona (19143), Cieneguitas y Crucitas (19144), Zaragoza SMN (19066), Santa Ana (19138), San Francisco de Berlanga (19135), El Refugio de los Ibarra (19079) y Santa Rosa (19059) en el estado de Nuevo León; y Los Uvalle (28115) en el estado de Tamaulipas, con registros para el periodo 1988-2013 (25 años), donde se determinan los valores ponderados promedio anuales de precipitación y temperatura que corresponden a **192.0 mm** y **17.0°C** respectivamente.

## **2.3 Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica No. 37 "El Salado", esta cubre el 56.5 % de la superficie del estado de San Luis Potosí, abarcando el occidente y parte del centro de la entidad.

Este lugar pertenece a la subregión Hidrológica El Salado, al mismo tiempo se encuentra entre dos cuencas Hidrológicas llamadas San Pablo y La Tula, poca extensión de su territorio se encuentra en la cuenca Soto La Marina, subcuencas Jesús María de Berrones, Joya de San Lorenzo-La Cardona y en Arroyo Alto Blanco.

En la extensión territorial del acuífero no se cuenta con un río principal, la zona se caracteriza por afluentes en forma de arroyos, como Arroyo Grande, Arroyo Bajío Quelites, Arroyo el Milagro, Arroyo el Epazote, Arroyo Salto del Gato, Arroyo el Camposanto entre otros.

## **2.4 Geomorfología**

Los paisajes están formados por Sierras y Llanuras, compuestos por un sistema montañoso de forma plegada, con relieves de crestas alargadas limitadas por valles intermontanos. La característica de las Sierras de la zona es estar entrelazadas por brazos cerriles que siguen una misma dirección o son oblicuos a las sierras, esta configuración produce una especie de red de Sierras entre las cuales hay espacios planos que forman las llanuras de la subprovincia Sierras y Llanuras Occidentales.

## **3. GEOLOGÍA**

El acuífero litológicamente se encuentra constituido por estratos de diferentes formaciones, las rocas más antiguas corresponden a formaciones compuestas de caliza y limolita-caliza. Existen estratos de limolitas con lutitas, areniscas calcáreas y calizas arcillosas; se caracteriza por sus concreciones calcáreas, horizontes carbonosos y de fosforita. Seguidos por mas estratos de caliza, caliza arcillosa y margas de estratificación mediana, con intercalaciones de lutita y estratos constituidos por un paquete de calizas arcillosas, lutitas calcáreas y limolitas; en los estratos de caliza se observan nódulos y bandas de pedernales de color negro.

Estos estratos están cubiertos de sedimentos continentales, brechas conformadas por clastos de caliza de diversa granulometría y cementante calcáreo-arcilloso conformados de arcillas, arenas de grano fino, y localmente se observan lentes de conglomerado semiconsolidado y mal clasificados se tiene el registro de depósitos de limo, así como acumulaciones no consolidadas de fragmentos de diferente granulometría y composición (figura 2).



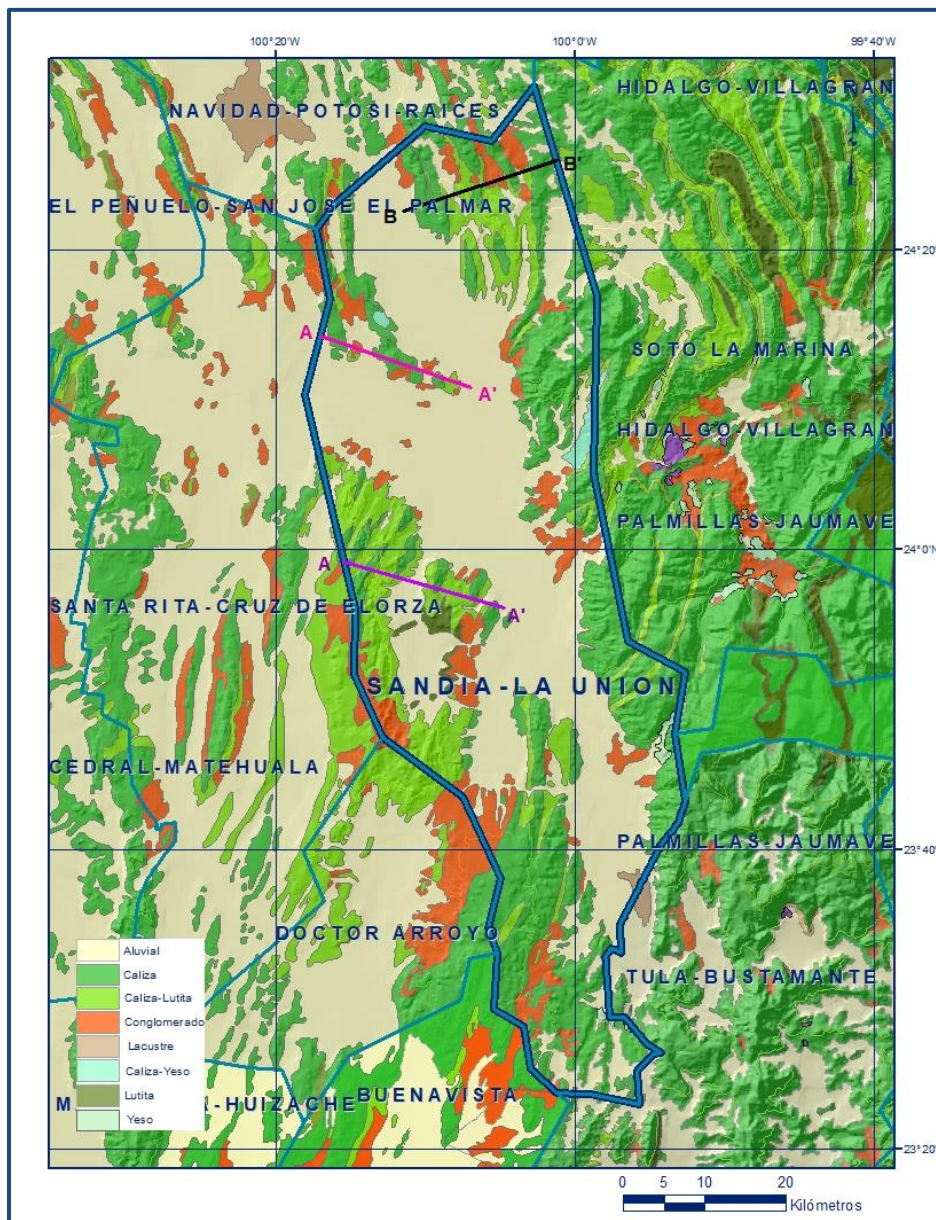


Figura 2. Geología general del acuífero

### 3.1 Estratigrafía

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

Las unidades litoestratigráficas expuestas, varían en edad del Jurásico superior al Pleistoceno. Las unidades de la cuenca Mesozoica del Centro de México presentan contactos concordantes y en su mayoría transicionales, las relaciones con las rocas de la plataforma Valles-San Luis Potosí se consideran interdigitadas lateralmente.

## **Jurásico Superior**

### **Kimmeridgiano-Tithoniano**

La unidad más antigua de la cuenca (CMCM) están representadas por calizas en estratos medianos a masivos con abundantes fósiles y fragmentos de corales (JokCz) de la Formación Zuloaga, es el equivalente a la Formación Olvido (JokY-Cz), expuesta en porciones al norte-centro y que consiste de un paquete de yeso y caliza del Oxfordiano-Kimmeridgiano. No se observa la base y a la cima es cubierta en forma concordante, por la Formación La Caja (JktLm-Cz). Se conforma de limolitas que se interestratifican con lutitas, areniscas calcáreas y calizas arcillosas; se caracteriza por sus concreciones calcáreas, horizontes carbonosos y de fosforita. Estudios de fauna macro y micro en la cuenca, permiten su ubicación en el Kimmeridgiano-Tithoniano, la relación es concordante, con la Formación Taraises a la cual subyace.

## **Cretácico Inferior**

### **Berriasiano-Valanginiano**

A la que sobreyacen bancos calcáreos de mudstone a wackestone en estratos medianos a gruesos con lentes y nódulos irregulares de pedernal, nódulos de marcasita y esporádicas líneas estilolíticas que caracterizan a la Formación Cupido (KhapCz), constituida por una secuencia de calizas de estratificación mediana a gruesa y en partes masiva, con estilolitas, nódulos de pedernal y belemnites.

A la formación Cupido le sobreyace un paquete de caliza arcillosa en estratos delgados con bandas de pedernal negro que alterna con lutita y limolita de la Formación La Peña (KapCz-Lu), expuesta en franjas delgadas en las porciones occidental, central y oriental. Esta última constituida por lutitas calcáreas, limolitas y calizas interestratificadas, en estratos que van de laminares a delgados, presenta escasos cristales de pirita, lentes y bandas delgadas de pedernal negro a marrón, amonites en impresiones y completas.

## **Cretácico Superior**

### **Albiano-Cenomaniano**

La Formación Cuesta del Cura (KaceCz-Lu) es una secuencia de caliza de textura wackestone en capas delgadas a medianas con bandas de pedernal negro que alterna con lutita y limolita, sincrónicamente en una porción del sector sureste, se desarrolló una fracción de la plataforma Valles-San Luis Potosí, representada por una secuencia de caliza pura, variablemente Karstificada, en estratos medianos a gruesos masivos de la Formación El Abra (KassCz).

## **CENOZOICO**

### **Oligoceno-Mioceno**

Los primeros depósitos eminentemente continentales están representados por un conglomerado polimíctico (TeCgp) mal clasificado, bien cementado, que se presenta “basculado”, desarrollado probablemente en el Eoceno, aflora discretamente en la porción sur de la sierra Las Villas.

### **Cuaternario**

#### **Oligoceno-Mioceno**

Posteriormente, en el transcurso del Oligoceno-Mioceno, al combinarse condiciones tectónico-estructurales favorables, se generaron cuencas lacustres con sus respectivos depósitos (Tomla). Discordantemente sobre los depósitos lacustres se desarrolló un conglomerado polimíctico (TplQptCgp) pliocuaternario, variablemente cementado y mal clasificado. Finalmente, en el Pleistoceno, se tiene el registro de depósitos de limo, así como acumulaciones no consolidadas de fragmentos de diferente granulometría y composición (Qptlm-gv), distribuidos en los valles y partes bajas de las serranías.

### **3.2 Geología estructural**

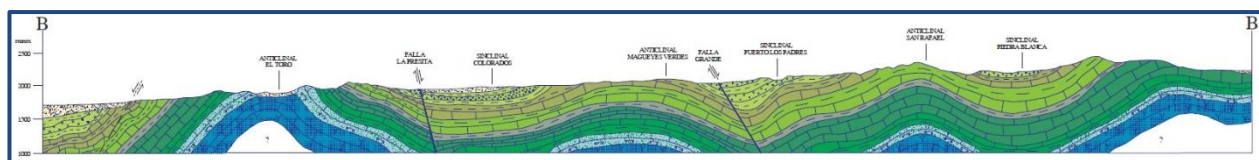
Estructuralmente se reflejan esfuerzos regionales compresivos, que ocasionaron pliegues y cabalgaduras, cuyos tensores de esfuerzos tienden a una dirección NW-SE. Las estructuras formadas por esta deformación son del dominio dúctil-frágil, representadas por plegamientos y cabalgaduras, destacando los anticlinales El Pino, El Gavilán, La Presa, Los Pliegues, Montelongo, así como los sinclinales San José, Codornices, El Tigre y la cabalgadura Sarnoso. Posteriormente a los esfuerzos compresivos ocurre una etapa de distensión post-Laramídica, que origina estructuras del dominio frágil representadas por dos sistemas de fallamiento normal, el primero de dirección general NW-SE y el segundo evento de deformación está representado por fallamientos normales de rumbo general con orientación NE-SW.

### **3.3 Geología del subsuelo**

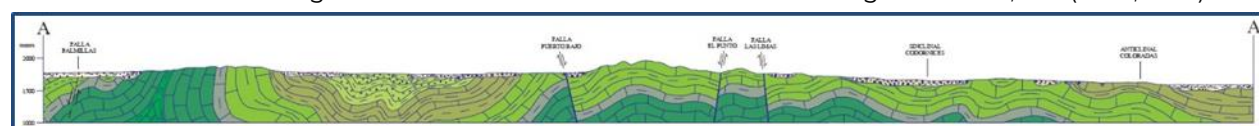
De acuerdo con la geología superficial y la información de cortes litológicos (figura 3) se determina que el acuífero está constituido de la siguiente manera:

El acuífero se encuentra en material de rocas calizas en diferentes espesores estratigráficos, diferentes estratos de limolitas con lutitas, areniscas calcáreas, calizas,

arcillosas, horizontes carbonosos y de fosforita. Seguidos por mas estratos de caliza, caliza arcillosa y margas de estratificación mediana, con intercalaciones de lutita y estratos constituidos por un paquete de calizas arcillosas, lutitas calcáreas y limolitas. En algunos de los estratos de caliza se observan nódulos y bandas de pedernales de color negro cubiertos de sedimentos continentales, brechas conformadas por clastos de caliza de diversa granulometría y cementante, para en partes superiores se encuentren algunos depósitos de limo.



Fuente: Carta Geológico-Minera G14-C76 "San Francisco de Berlanga". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)



Fuente: Carta Geológico-Minera G14-C86 "La Soledad". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-A16 "San ramón de Martínez". Esc. 1:50,000 (SGM, 2016)

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 de **tipo libre a semiconfinado**, debido a que la composición de estratos variados de rocas calizas, lutitas, areniscas, caliza arcillosa, lutitas calcáreas y limolitas. Estos materiales representan zonas de difícil movimiento de aguas subterránea sobre todo en las zonas que se encuentran cubiertas de clastos de caliza de diversa granulometría y cementante que en partes superiores contienen algunos depósitos de limo que general el semiconfinamiento.

La característica de que en algunas partes funcione como un acuífero libre se deben a las fallas de las formaciones geológicas, estas representan zonas de recarga y de almacenamiento de agua entre los diferentes estratos.

## 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 Sandia-La Unión 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 **3,026.6 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 (3,026.6 km<sup>2</sup>) por la lámina de precipitación media anual (192.0 mm):

$$V_{LL} = 3,026.6 \text{ km}^2 (0.192 \text{ m}) = 581.1 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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 **180 mm anuales**.

De esta forma, multiplicando el área del acuífero (**3,026.6 km<sup>2</sup>**) por la lámina de evapotranspiración anual (**0.180 m**), el volumen evapotranspirado es de **544.8 hm<sup>3</sup> 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.

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:

$$\begin{array}{ll} \text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15 & C_e = K (P-250) / 2000 \\ \text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15 & C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5 \end{array}$$

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 Sandia-La Unión predominan los siguientes tipos de suelo: Feozem, Litosol, Rendzina, Solonchak y Xerosol que se clasificaron en dos tipos de suelo: A y B (figura 4).

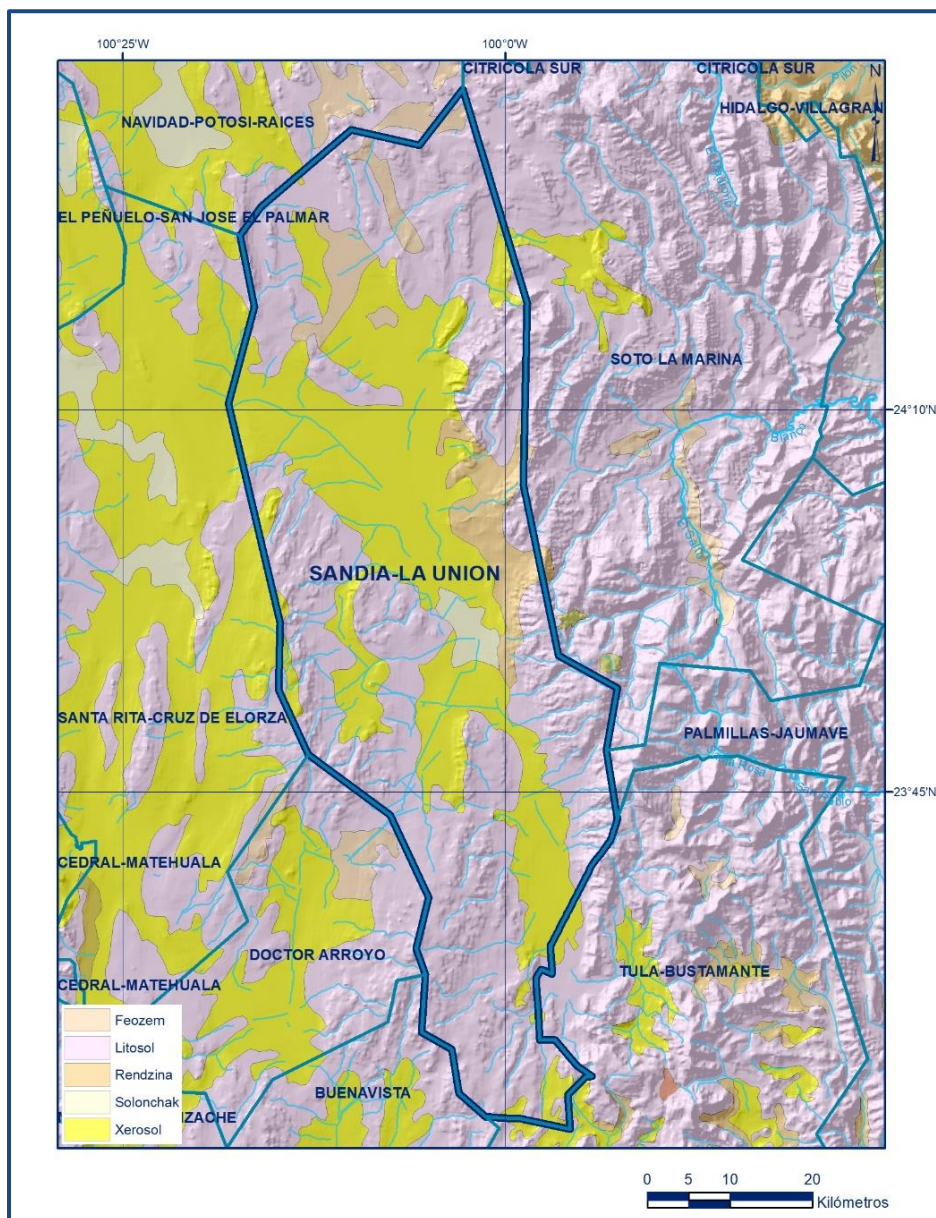


Figura 4. Tipo de suelo

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).

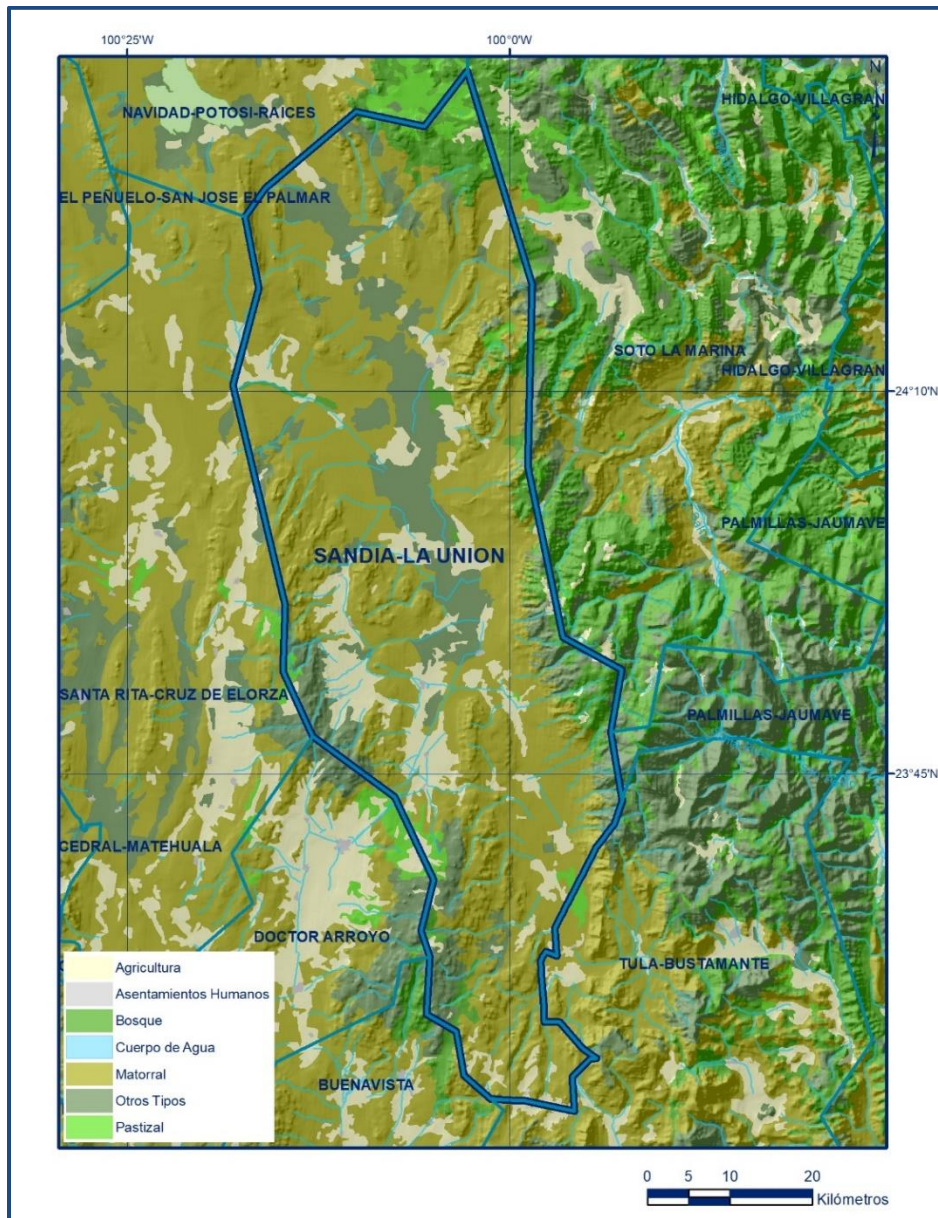


Figura 5. Uso de Suelo

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

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO 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
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 0.26, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ):

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

$$C_e = 0.018$$

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

$$V_{ESC} = 0.018 (581.1 \text{ hm}^3) = 10.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \text{ (2)}} \\ \mathbf{V_{INF} = 581.1 - 544.8 - 10.6 = 25.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 581.1 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0444. De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 25.8 hm<sup>3</sup>/año en los 3,026.6 km<sup>2</sup> de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 25.8 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 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 **35.4 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:

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

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 **25.8 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 Sandia-La Unión no se considera valor de descarga 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 **35,449,265 m<sup>3</sup> 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 25.8 - 0.0 - 35.449265 \\ \text{DMA} &= -9.649265 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **9,649,265 m<sup>3</sup> anuales**

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2016. Carta Geológico-Minera “San Francisco de Berlanga” G14-C76, Escala 1: 50,000.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2016. Carta Geológico-Minera “San Ramón de Martínez” F14-A16, Escala 1: 50,000.

Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2016. Carta Geológico-Minera “La Soledad” G14-C86, 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.