



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO SERRANÍA DEL BURRO (0526),  
ESTADO DE COAHUILA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

# Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
Antecedentes.....	1
1.1 Localización.....	1
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	3
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>4</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Provincia Fisiográfica.....	4
3.2 Clima.....	5
3.4 Hidrografía.....	5
3.5 Geomorfología.....	6
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
4.1 Estratigrafía .....	8
4.2 Geología estructural.....	12
4.3 Geología del subsuelo.....	13
<b>5. HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>14</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	14
5.2 Parámetros hidráulicos.....	15
5.3 Piezometría .....	15
5.4 Comportamiento hidráulico .....	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	15
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....</b>	<b>16</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>16</b>
7.1 Entradas.....	17
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	17
7.2 Salidas.....	23
7.2.1 Bombeo (B).....	23
7.2.2 Descarga por manantiales (Dm).....	24
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>24</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	24
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	24
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	25
8.4 Disponibilidad media anual de aguas subterráneas (DMA).....	25
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>26</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-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 Serranía del Burro, definido con la clave 0526 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción norte del estado de Coahuila, entre las coordenadas geográficas 28° 54' y 29° 46' de latitud norte, y 102° 07' y 102° 53' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 4,016 km<sup>2</sup>.

Limita al noroeste con los Estados Unidos de Norteamérica, al noreste con el acuífero Cerro Colorado-La Partida; al sur con los acuíferos Allende-Piedras Negras y Región Carbonífera; y al suroeste con el acuífero Santa Fe del Pino, todos ellos pertenecientes al estado de Coahuila (figura 1).



Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente se localiza parcialmente en los municipios de Acuña, Múzquiz y Ocampo, todos ellos pertenecientes al estado de Chihuahua.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0526 SERRANIA DEL BURRO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	30	43.3	29	46	5.1	
2	102	23	10.6	29	39	48.4	
3	102	23	27.4	29	36	3.7	
4	102	21	28.9	29	35	47.7	
5	102	19	26.9	29	31	35.2	
6	102	21	7.2	29	27	28.9	
7	102	11	8.4	29	14	42.7	
8	102	12	37.2	29	11	45.3	
9	102	11	18.0	29	9	21.5	
10	102	9	9.5	29	8	57.4	
11	102	9	16.8	29	4	11.2	
12	102	8	23.4	29	2	42.2	
13	102	7	20.3	29	0	8.5	
14	102	9	10.2	28	58	29.5	
15	102	12	16.4	28	54	33.3	
16	102	16	49.3	28	54	20.3	
17	102	22	27.4	28	59	6.4	
18	102	29	15.4	28	58	27.4	
19	102	37	58.6	29	0	53.7	
20	102	37	19.4	29	5	33.9	
21	102	40	30.5	29	10	40.0	
22	102	44	8.7	29	13	35.6	
23	102	48	59.1	29	14	43.0	
24	102	53	47.1	29	16	56.1	DEL 24 AL 1POR EL LÍMITE INTERNACIONAL
1	102	30	43.3	29	46	5.1	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Serranía del Burro pertenece al Organismo de Cuenca VI Río Bravo. En el territorio completo que cubre al acuífero no rige ningún decreto de veda para la extracción de agua subterránea.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 4. El uso principal del agua es el doméstico. En el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## **2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En el territorio que comprende el acuífero se ha realizado sólo un estudio hidrogeológico de evaluación que abarca su superficie completa, además de otros estudios en acuíferos vecinos, denominado:

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS SANTA FE DEL PINO, HÉRCULES, LAGUNA EL GUAJE, LAGUNA EL COYOTE, ACATITA, LAS DELICIAS, SERRANÍA DEL BURRO Y VALLE DE SAN MARCOS, EN EL ESTADO DE COAHUILA; realizado en el año 2010 para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) mediante convenio con el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León.** El estudio tuvo como objetivo general el conocimiento de la condición geohidrológica de los acuíferos, conocer su funcionamiento hidrodinámico y recabar información para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Como parte de sus actividades de campo incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos.

Este estudio fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

## **3. FISIOGRAFÍA**

### **3.1 Provincia Fisiográfica**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1959), modificada por Ordoñez (1964), el área que cubre el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica V Sierra Madre Oriental. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del INEGI, la zona que corresponde al área del acuífero se localiza en las Provincias Serranía del Burro y Sierras y Llanuras Coahuilenses.

La Provincia Serranía del Burro ocupa 13,233 km<sup>2</sup> del área total de la entidad e incluye parte de los municipios de Acuña, Guerrero, Múzquiz, Sabinas, Villa Unión y Zaragoza; así como secciones muy pequeñas de los de Juárez, Morelos y San Juan de Sabinas. Es una ramificación de la Sierra Madre Oriental ubicada en la parte nor-central de Coahuila, con alturas de 500 a 2,500 msnm.

Se distribuye de sur a nor-noroeste, atravesando mayormente el municipio de Zaragoza, pero sus partes sur y occidente se adentran en el municipio de Melchor Múzquiz y hacia el norte alcanza el municipio de Acuña.

En ella nacen la mayoría de los ríos de agua constante de Coahuila y es considerada una región terrestre prioritaria de conservación ecológica. La Provincia Sierras y Llanuras Coahuilenses ocupa 43,938 km<sup>2</sup> del área total de la entidad y comprende los municipios de Abasolo, Frontera, Lamadrid, Nadadores, Sacramento y San Buenaventura; partes de los de Acuña, Candela, Castaños, Cuatro Ciénegas, Escobedo, Monclova, Múzquiz, Ocampo, Progreso y Ramos Arizpe; así como porciones muy pequeñas de los municipios de San Juan de Sabinas y Zaragoza. Está conformada por sierras de caliza plegadas, alcanzando altitudes de entre 1,000 a 2,000 msnm, la mayoría orientadas de noroeste a sureste, escarpadas y pequeñas. Sus ejes estructurales están bien definidos y, especialmente en el sur, se presentan anticlinales alargados con los lomos erosionados. Particularmente podemos encontrar a la Sierra Hermosa de Santa Rosa con 2,250 msnm., la cual corresponde al Valle de Santa Rosa, en el municipio de Múzquiz (INEGI, 2011).

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, los climas predominantes para el acuífero Serranía del Burro son subtipos secos y muy cálidos. Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de isoyetas e isotermas del INEGI. De acuerdo con estos datos, se determinaron valores promedio anuales de precipitación y temperatura de precipitación y temperatura media anual de **370 mm** y **18 °C** respectivamente.

De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **2,140 mm anuales**. El régimen pluvial se presenta en prácticamente todos los meses del año, el cual sin embargo no es abundante, con rangos de precipitación media anual que varían entre 100 y 500 mm. Particularmente con lluvias escasas para noviembre, diciembre, enero y febrero. Las heladas tienen una duración de 20 a 40 días, principalmente en la parte sureste y noroeste del municipio de Ocampo. En cuanto a la distribución mensual de la temperatura media, esta varía entre 20 y 22 °C.

### **3.4 Hidrografía**

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 24 Bravo-Conchos, que cubre gran parte de la entidad, con un 50% del territorio estatal; en ella se encuentran las cuencas: Río Bravo-Presa de la Amistad, Río Bravo-Ojinaga y Presa Falcón-Río Salado.

Al norte del municipio de Acuña pasa el Río Bravo, sirviendo como límite entre México y Estados Unidos. El Río Bravo fluye por 512 km entre la frontera de Coahuila y Texas, pasando por los municipios de Ocampo, Acuña, Jiménez, Piedras Negras, Nava, Guerrero e Hidalgo. La Serranía del Burro, como corredor ecológico, comprende el sistema de los ríos San Rodrigo-San Diego y conecta las regiones prioritarias de los Cinco Manantiales: Santa Gertrudis (Ocampo), Agua Verde (Ocampo), El Socavón (Múzquiz) y la Poza de la Becerra (Cuatro Ciénegas), y del Bajo Río Bravo. Otros ríos del estado son Río San Rodrigo, Río San Diego, Río Escondido, Río Álamo, los cuales nacen en las Serranías del Burro. En el estado existen alrededor de 15 presas. Las dos más importantes son la Presa de la Amistad y la Presa Venustiano Carranza, conocida también como Don Martín.

### **3.5 Geomorfología**

De manera general la morfología constituye una cadena montañosa que abarca todo el oeste mexicano y el extremo suroccidental de los Estados Unidos. Desde el punto de vista geológico, no es una sierra, sino una meseta, surcada por numerosos cañones que le dan la apariencia de sierra.

A partir del volcanismo se depositaron capas de materiales ígneos, como cenizas, gravas y derrames volcánicos, de composición riolítica, formando una gigantesca meseta. La integran siete barrancas; las más espectaculares son la Barranca del Cobre y la Barranca de Urique (que desciende 1,879 m de altura), surcadas por grandes ríos, entre ellos el Conchos que irriga gran parte del estado de Chihuahua.

La cordillera principal del estado es la Sierra Madre Oriental, la cual lo cruza de sur a norte, produciendo un gran número de colinas, montañas y cañones. En el estado existen alrededor de 24 sierras.

En la Serranía de Arteaga, localizada en el sureste del estado, se encuentra la elevación máxima del estado: el Cerro de las Vigas, el cual cuenta con 3,751 msnm. La altitud va decreciendo desde el norte hasta la Serranía del Burro, con menos de 2,000 msnm. El cañón del Colorado se ubica al sur del municipio de Acuña. Al noreste del municipio de Ocampo se localizan tres sierras: la del Carmen, San Vicente y La Harina; al este: la Sierra Encantada, El Pino y Eutimias; al sureste las sierras: El Palomino, El Euste, El Capulín, San Francisco y El Caballero; y al oeste La Concordia y La Máquina. Y para el municipio de Múzquiz: hacia el noroeste también se ubican las sierras el Carmen y La Babia; en el centro del municipio se encuentra la Sierra de Santa Rosa, que se extiende de norte a sur desde el río La Babia hasta el arroyo sin nombre.

#### 4. GEOLOGÍA

La geología general emplazada en la región que comprende el acuífero, está integrada por unidades marinas mesozoicas, las cuales constituyen una secuencia carbonatada de ambientes de plataforma, de edad Albiano al Cenomaniano, prácticamente continua y se interrumpe en el Turoniano cuando se deposita una secuencia de sedimentos calcáreo-arcillosos, los cuales prevalecen en el resto del Mesozoico. El Cenozoico está representado por la presencia de materiales ígneos que incluyen rocas hipabisales y derrames de materiales de composición principalmente riolítica. En el Cuaternario existen depósitos de relleno que cubren a cualquiera de las unidades depositadas previamente (figura 2).

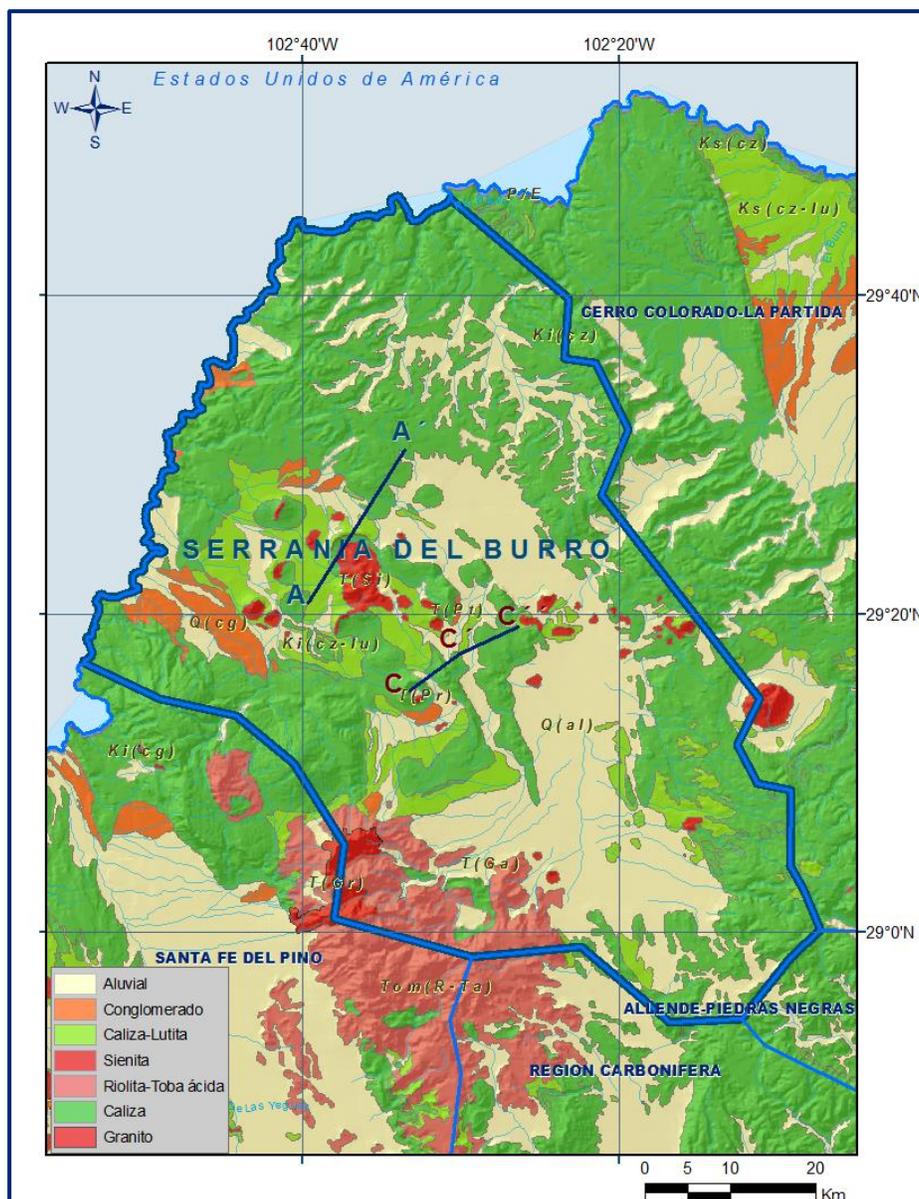


Figura 2. Geología general del acuífero

#### **4.1 Estratigrafía**

La secuencia de rocas expuestas en la región, cuyas edades varían del Cretácico al Reciente (Carta Geológica-Minera E13-D38 “Cuatro Palmas”, Coahuila. Esc. 1:50,000, SGM 2005), se menciona a continuación de la unidad más antigua a la más reciente:

#### **CRETÁCICO INFERIOR**

##### ***Calizas de plataforma (Albiano Inferior)***

Representadas por la caliza de la Formación Glen Rose (Ka(i)Cz-Lu), de facies de plataforma, que texturalmente corresponden a wackestone de fósiles y caliza arcillosa, dispuestas en capas delgadas, medianas y gruesas, en las cuales los fósiles del género *Orbitolina* son frecuentes.

A esta unidad le sobreyace concordantemente una secuencia de lutita y caliza arcillosa con intercalaciones de limolita calcárea en estratos delgados correspondientes a la formación West Nueces (KaLu) de edad Albiano inferior a medio.

Formación West Nueces. Comprende calizas de textura media (wackstone) que en la base presentan estructura nodular. Se encuentra sobreyaciendo a las margas y calizas de la Formación Telephone Canyon y subyaciendo a las calizas de la Formación Mc Knight. Presenta amplios afloramientos en el flanco este de la Sierra del Burro. Tiene amplio desarrollo en la Serranía El Burro y se considera una continuación de la Formación Devil River inferior, hacia el este; pero adelgazándose en forma de cuña, en el ambiente lagunar. Con espesores de 183 m en el oeste y 46 m hacia el este.

Puede decirse que la West Nueces sufre una degradación lenta de afinidades arrecifales a medida que se aleja de los bordes de los bancos de la Devil River y del Stuart City, graduándose en facies que caracterizan a la Mc Knigth hacia el interior de la laguna. Tiene en su base grandes biohermas y hacia su cima biostromas.

##### ***Secuencias calcáreas (Albiano Medio)***

Integrada por calizas de estratificación gruesa y masiva con abundantes restos de rudistas y ocasionales intercalaciones de lutita calcárea, que constituyen a la Formación Edwards (KaCz-Lu); su contacto con la unidad inferior es concordante, de igual manera con la Formación Mc Knigth (KaLu-Cz) que la sobreyace; de edad Albiano Superior, que es concordante y abrupto.

Esta última unidad consta de una secuencia predominantemente arcillosa, conformada por una intercalación de lutita y caliza arcillosa.

Formación Mc Knight. Paquetes de calizas oscuras en capas delgadas, evaporitas y brechas de colapso. Se encuentra sobreyaciendo a las calizas de la Formación West Nueces y subyaciendo a las calizas de la Formación Salmon Peak.

Esta formación tiene su principal superficie expuesta hacia el sur y sureste del anticlinal de la Serranía El Burro. En esta época las condiciones de circulación en la laguna se restringieron notablemente, por lo cual la Cuenca de Maverick estuvo prácticamente cerrada.

Su máximo espesor es de 151 m que presenta en el flanco sureste del anticlinal El Burro, en donde está compuesta de calcarenitas y calizas fosilíferas con nódulos de pedernal intercalados, que indican la formación de evaporitas. El medio de depósito inicial de esta formación fue en condiciones euxínicas de alta salinidad. Su parte media consiste de lodolita calcárea arcillosa de estratificación delgada a laminar. La parte superior consta de capas de brecha separadas de calcarenitas y lodolitas calcáreas de textura esferulítica en capas delgadas, estando también presente pedernal nodular.

### ***Calizas de plataforma (Albiano Superior)***

Son rocas que pertenecen a la Formación Salmon Peak (KaCz), conformadas por estratos gruesos y masivos, los cuales presentan abundantes restos de rudistas y caprínididos. Sus contactos con las unidades inferior y superior son abruptos y concordantes, mismos que afloran en la zona.

Formación Salmon Peak. Se han agrupado bajo éste nombre a calizas arcillosas con nódulos de pedernal e inclusiones de marcasita en estratos potentes, con un espesor promedio de 245 m, que afloran en forma de cordón circundando a la Sierra del Burro; y forma la parte superior del Complejo Arrecifal del Burro.

Los primeros 145 m a partir de su base, están conformados por lodolita calcárea a caliza wackstone con globigerina, presentándose nódulos de pedernal en la cima. Los restantes 100 m constan de calcarenitas con fragmentos de conchas. Dentro de la Cuenca de Maverick, al oeste de la zona, la parte superior de la Salmon Peak se adelgaza hacia el este, desapareciendo por la aparición de la Formación Devil River.

Sus límites superior e inferior son transicionales, pero fácilmente reconocibles en el campo, pues ésta unidad en general contrasta con las unidades que la encajonan. Litológicamente, su límite inferior es transicional sobre la Formación Kiamichi; en tanto que su límite superior es un cambio gradual de las calizas en estratos potentes de la Formación Salmon Peak, hacia la secuencia de sedimentos clásticos y calcáreos de la Formación del Río.

### ***Lutitas (Cenomaniano Inferior)***

Este paquete sobreyace a la Formación Salmon Peak (KaCz), con algunas intercalaciones de caliza arcillosa y limolita de la formación Del Río (KceLu-Cz).

Formación Del Río. Fue originalmente descrita por Hill y Vaughan (1898). Su localidad tipo se encuentra en la Ciudad de Del Río, Texas; con 60 m de lutitas fosilíferas de color amarillento. Su litología es dominante de lutitas fosilíferas con nódulos de pirita, alcanza un espesor máximo de 124 m en el centro de la parte oriental de la Cuenca de Maverick. En el pozo El Refugio, con espesores de 40 m; y en el Remolino, 22 km al norte de El Refugio tiene espesores de 50 m.

Con la aparición de la Formación Del Río llegaron a su fin, a escala regional, las calizas de borde arrecifal y de plataforma en el norte de México y en Texas al sur. Un levantamiento regional noroeste-norte, al final de Salmon Peak, provocó la sedimentación de vastas cantidades de materiales terrígenos para dar a la formación de arcilla del río.

Aflora esporádicamente en la porción nor-oriental de la Serranía del Burro, en los flancos del Sinclinal del Abanico y en el Complejo La Cueva y aparece por su poco espesor como una cinta angosta en contacto con la Formación Buda suprayacente; comprende lutitas, areniscas, margas y yesos con abundantes nódulos de pirita y marcasita. Sus límites superior e inferior son transicionales, pero fácilmente reconocibles ya que se encuentra encajonada entre formaciones más resistentes por lo que presenta formas de pendiente suave.

### **CRETACICO SUPERIOR**

Sobre la Formación Salmon Peak descansan concordante y abruptamente calizas de textura mudstone; con fósiles pelágicos, dispuestas en capas delgadas a gruesas y pertenecientes a la Formación Buda (KceCz) del Cenomaniano Medio.

Formación Buda. Fue descrita por Hill (1900) en Shoal Creek, Austin Texas, como una unidad consistente de estratos medianos de margas y calizas con Budaiceras y Exogyra ponderosa.

Dentro de la Sierra del Burro, aflora en el Rancho El Abanico, Rancho Valencia, Complejo La Cueva y en Rancho Nuevo. Está constituida por 30 m de estratos medianos de calizas con foraminíferos y margas con braquiópodos y nódulos de hematina y pirita.

Su límite es reconocible topográficamente pues constituye un cambio litológico con la Formación del Río, la cual presenta formas de lomeríos. Su límite superior es transicional con la Formación Boquillas y difícil de reconocer en el campo, pues no existe contraste entre sus litologías.

### ***Calizas-arcillosas y lutitas (Cenomaniano Superior)***

La culminación del depósito de secuencias calcáreas finaliza con la presencia de abundantes materiales arcillosos integrados en una alternancia de lutita y caliza arcillosa, en ocasiones con presencia de arena pertenecientes a la Formación Eagle Ford (KcetLu-Cz); los estratos son laminares y delgados, con un típico intemperismo de estructura lajosa.

Sobre esta unidad se observa caliza arcillosa con quiebres de lutita calcárea en donde es común la presencia de restos de Inoceramus y plantas que pertenecen a la Formación Austin (KcossCz-Lu).

Coronando la columna sedimentaria mesozoica se observan bancos masivos de lutita calcárea con intercalaciones de limolita definidas como Formación Upson (KcLu-Lm) del Campaniano.

Formación Eagle Ford. Corresponde a lutitas de color oscuro, intercaladas con calizas arcillosas en estratos delgados. Aflora en una delgada banda al pie de la Sierra del Burro. Con espesores de entre 100 y 178 metros.

Formación Austin. Formada por calizas de color gris claro, en estratos de tamaño medio, con intercalaciones de lutitas calcáreas, consideradas de ambiente nerítico con aporte de material terrígeno. Aflora en el denominado Lomerío de Peyotes que corresponde a un anticlinal, continuación del buzamiento sureste del anticlinal de la Sierra del Burro. Con espesores reportados de entre 300 a 313 metros.

Formación Upson. Intercalaciones de lutitas y limolitas en capas delgadas a laminares, ocasionalmente en capas calcáreas de estratificación mediana. Aflora en los ejidos La Maroma y Maravillas. Su espesor varía entre 300 y 450 m. Su depósito se asocia a facies de prodelta de un sistema desarrollado durante el Cretácico superior.

### ***Rocas Ígneas, intrusivas o hipabisales (Mesozoico)***

Toda esta secuencia está compuesta por diferentes rocas ígneas, cuya composición varía desde granito hasta sienita; dentro de ellas se identifican pórfidos riolíticos (ToPR), cuyo cuerpo más espectacular corresponde al cerro Pico Etéreo. A ellos se asocian diferentes materiales como brechas volcánicas (ToBv) y riolíticas (ToBvR), así como frecuentes flujos piroclásticos (ignimbritas), riolíticos (ToTR). También es frecuente la presencia de diques con textura porfídica y que fueron integrados en la unidad de diques y pórfidos andesíticos (ToPA) así como sienitas (ToSi).

## **NEÓGENO**

### ***Depósitos continentales (Holoceno)***

Estos depósitos están compuestos por un conjunto de materiales de relleno que incluyen desde conglomerados (QhoCgp) mal consolidados y sin cohesión, que en las faldas de los cerros forman el talud (Qhoco), hasta gravas, arenas y arcillas (Qhoal) que cubren a las rocas anteriormente descritas.

## **4.2 Geología estructural**

Las estructuras producidas durante la Orogenia Laramide (Cretácico Superior al Terciario Inferior), corresponden con un arreglo constituido por pliegues de amplio radio de curvatura definidos por estratos con inclinaciones de muy bajo ángulo. Con análisis de imágenes de satélite es posible observar la presencia de tres bloques estructurales: El bloque de Cuatro Palmas (BCP) muestra los pliegues mencionados, mismos que se encuentran frecuentemente afectados por la intrusión de los materiales ígneos, los cuales integran cuerpos espectaculares como los de Pico Etéreo, Mal Abrigo y el Jabalí, entre otros. Es común la presencia de estructuras circulares dentro de las cuales destaca la Caldera de Aguachile y Cerro La Cueva.

El bloque El Cíbolo (BC) corresponde, en esta región con una estructura homoclinal, con los estratos buzando al SW, mientras que el bloque Los Buras (BLB) se asoció al área compuesta por amplios valles generado por la presencia de una falla de carácter distensivo ubicada al poniente de este elemento estructural.

La región de interés se ubica en el Terreno estratotectónico Coahuila, (Campa, et al., 1983). En él, con la culminación de la Orogenia Apalachiana de edad Paleozoico tardío, se definen una serie de elementos positivos y negativos que dan lugar al arreglo paleogeográfico configurado a través de todo el Mesozoico.

Uno de ellos corresponde con la Plataforma del Burro en el que se depositan secuencias eminentemente carbonatadas en donde es común la presencia de crecimientos arrecifales y que corresponde con una edad Albiano-Cenomaniano, para después revertir, a partir del Turoniano, un aporte de origen terrígeno, fenómeno que se relaciona con la colisión de los terrenos Guerrero y Sierra Madre.

En el Terciario se desarrolla, como respuesta al cese de la subducción de un segmento de la Placa Pacífico (Farallón), una fase netamente distensiva que dio origen a un marcado fenómeno de fallamiento normal. Asociado con este período de inestabilidad, durante el Oligoceno y el Mioceno, tiene lugar una extensa actividad volcánica alcalina en la región de Trans-Pecos en Texas, que se extiende a varios cinturones volcánicos en Coahuila y Tamaulipas (Ewing T.E., 2003), la cual aprovechó zonas de debilidad cortical a través de las fallas normales previamente desarrolladas.

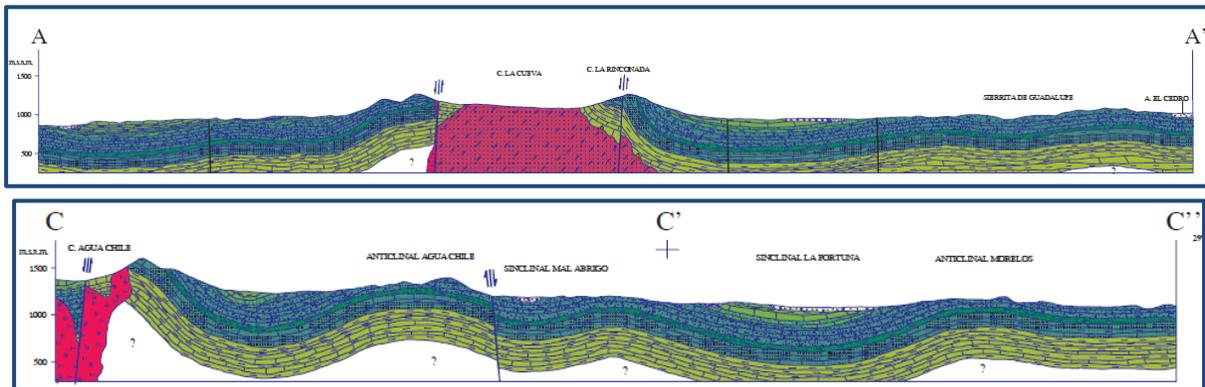
### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica así como la geología superficial recaba en el acuífero y por correlación con acuíferos vecinos, es posible establecer que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales de granulometría variable, desde gravas hasta arcillas (Qhoal), así como los conglomerados polimícticos, que han sido transportados por los escurrimientos superficiales desde las regiones topográficamente más altas de la región y en la superficie cubierta por el acuífero, que aparentemente tienen un espesor reducido y baja permeabilidad, lo cual ha impedido la formación de acuíferos importantes. La porción inferior del acuífero está alojada en rocas sedimentarias, principalmente areniscas y lutitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento.

A mayor profundidad, las calizas de las formaciones Glen Rose, Edwards y Salmon Peak y las lutitas de las formaciones West Nueces y McKnighth, constituyen horizontes acuíferos que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento o de confinamiento, debido a que su litología incluye alternancia con lutitas y limolitas. Este es un acuífero que aún no ha sido explorado.

Las fronteras y barreras al flujo subterráneo, así como el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas sedimentarias al desaparecer su fracturamiento a profundidad, y por las secuencias de depósitos terrígenos finos que conforman las lutitas y limolitas. Hacia la parte central del acuífero, las elevaciones topográficas corresponden a cuerpos ígneos volcánicos que se comportan como impermeables al flujo subterráneo.

En la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática que muestra la disposición en el subsuelo de las diferentes unidades litológicas.



Fuente: Carta Geológica-Minera E13-D38 "Cuatro Palmas", Coahuila. Esc. 1:50,000 (SGM, 2005)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y espesor muy reducido.

Este es el acuífero que actualmente se explota en la zona de este valle y que es poco explotado, principalmente mediante manantiales que sólo satisfacen las necesidades de uso doméstico.

Los paquetes de intercalaciones de calizas-lutitas que se encuentran a mayor profundidad representan una fuente potencial de agua subterránea que aún no ha sido explorada.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

Debido al escaso número de aprovechamientos y a que la mayoría de los existentes son norias y manantiales, no fue posible la realización de pruebas de bombeo. Sin embargo, de los resultados de la interpretación de pruebas de bombeo ejecutadas en otros acuíferos vecinos y las pruebas de bombeo realizadas en el acuífero Allende-Piedras Negras, con las mismas características geológicas, es posible correlacionar los valores y adaptarlos al espesor saturado de cada zona. De esta manera, los valores de transmisividad varían de **0.3 a  $2.0 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.**

## **5.3 Piezometría**

No se conoce la cantidad total de aprovechamientos existentes dentro de la zona, por lo que su extracción total se desconoce. Cabe señalar que no se cuenta con estudios realizados en esta zona, por lo que no existen valores que permitan elaborar planos de profundidad ni de configuraciones de elevación.

## **5.4 Comportamiento hidráulico**

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio. Además, debido a la extensión superficial y a las condiciones orográficas del acuífero, existen pequeños valles intermontanos esparcidos en toda la superficie del acuífero, en los que se extrae de manera incipiente el agua subterránea de los niveles freáticos someros.

Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

## **5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea**

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en el año 2010, se tomaron 2 muestras de agua subterránea en dos diferentes aprovechamientos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, coliformes fecales y totales, etc., para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

Las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 296 a 706 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de STD para el agua destinada al consumo humano.

## **6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos, realizado como parte del estudio llevado a cabo en 2010, se registró un total de 5 aprovechamientos, de los cuales son: 2 manantiales, 1 aprovechamiento minero, 1 noria y 1 pozo. Del total de aprovechamientos, el pozo es el único que se encuentra sin uso, debido a que está azolvado. El volumen de extracción conjunto estimado asciende a **0.6 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 0.3 hm<sup>3</sup> provienen de los manantiales y los restantes 0.3 hm<sup>3</sup> de los demás aprovechamientos. El volumen de extracción conjunto se destina en su totalidad a satisfacer las necesidades del uso doméstico.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La poca información piezométrica actual e histórica en la superficie que cubre el acuífero, y debido a que se encuentra dispersa en espacio y tiempo; hace imposible extrapolar para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas tradicional. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos de agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles; la superficie del acuífero está conformada en su mayor parte por sierras entre las cuales existen pequeños valles intermontanos en los que se localizan los escasos aprovechamientos.

Por todas estas razones, se optó por plantear un balance hidrometeorológico en la superficie de 4,016 km<sup>2</sup> del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero. 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:

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

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento del acuífero:

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

## 7.1 Entradas

Las entradas al acuífero Serranía del Burro están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia ( $R_v$ ).

### 7.1.1 Recarga vertical ( $R_v$ )

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 ( $4,016 \text{ km}^2$ ) por la lámina de precipitación media anual ( $370 \text{ mm}$ ):

$$V_{LL} = 4,016 \text{ km}^2 (0.370 \text{ m}) = 1,485.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empírica de Turc, considerando los valores promedio anual de precipitación de  $370 \text{ mm}$  y temperatura de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Turc a partir de observaciones realizadas en 254 cuencas distribuidas para todos los climas del mundo, reporta la expresión siguiente:

$$ETR = \frac{P}{\left[0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

**ETR**= Evapotranspiración real, en mm;

**P**= Precipitación media anual, en mm;

**L**=  $300 + 25T + 0.05T^3$ ;

**T**= Temperatura media anual, en °C;

La limitación teórica para la utilización de la fórmula de Turc, es que la precipitación no debe ser menor a la relación  $0.31L$  (322.9). 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 365.2 mm anuales.

$ETR (mm) = \frac{P (mm)}{\sqrt{0.90 + \left(\frac{P^2 (mm)}{L^2}\right)}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$			
T (°C) =	18		
P(mm) =	370	$P^2 =$	136900
L =	1041.6	$L^2 =$	1084930.56
ETR (mm)	365.2		

De igual manera Coutagne propuso la ecuación siguiente para el cálculo de la evapotranspiración real:

<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 sólo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre  $1/8\lambda$  y  $1/2\lambda$ , estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que  $1/8\lambda$  la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que  $1/2\lambda$  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 328.8 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 328.76 mm anuales, que representa el 88.9% de evapotranspiración respecto a la lluvia; por lo que el volumen de la ETR ( $V_{ETR}$ ) es:

$$V_{ETR} = 4,016 \text{ km}^2 (0.32876 \text{ m}) = 1,320.3 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, con fecha del 17 de abril de 2002, 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:

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

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 y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca en estudio, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 4 y se determina el uso actual del suelo.

En el caso de que en la cuenca en estudio, existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado. Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento (Ce), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

Si K resulta menor o igual que 0.15,

$$Ce = K (P-250) / 2000;$$

Si K es mayor que 0.15,

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

Donde:

**P** = Precipitación anual;

**Ce** = Coeficiente de escurrimiento anual;

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

Tabla 4. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

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
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
Camino	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS		
<b>A</b>	<b>Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos</b>		
<b>B</b>	<b>Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos</b>		
<b>C</b>	<b>Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgadas sobre una capa impermeable, o bien arcillas</b>		

De acuerdo con la cartografía de CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo de suelo, predominan los tipos: Feozem, Litosol, Planosol, Legosol, Rendzina, Xerosol (figura 4). En cuanto al uso de suelo (figura 5), de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000: el 64.22 % de la superficie del acuífero está cubierta por matorral (suelo tipo C), cubierta con menos del 50%, por lo que  $K=0.24$ ; 16.60 % del acuífero presenta pastizal (suelo tipo B), con cobertura regular del 50 al 75%, por lo que  $K=0.24$ ; el chaparral se presenta en 15.94 % de la superficie del acuífero (suelo tipo B), con cobertura del 50 al 75%, por lo que  $K=0.24$  y el bosque se presenta en 3.24 % de la superficie del acuífero, (suelo tipo C), con cobertura de más del 75%, por lo que  $K=0.24$ . Entonces:

$$K_{ponderado} = 0.3 (0.6422) + 0.24 (0.166) + 0.24 (0.1594) + 0.24 (0.0324) = 0.28$$

De esta manera, el valor de  $K$  se obtuvo como promedio ponderado y es igual a 0.28, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ):

$$C_e = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$$
$$\mathbf{C_e = 0.10347}$$

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

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.10347 (1,485.9 \text{ hm}^3) = 153.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

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

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)}$$
$$V_{INF} = 1,485.9 - 1,320.3 - 153.7$$
$$\mathbf{V_{INF} = 11.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 1,485.9  $\text{hm}^3/\text{año}$ , se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.0006.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 0.9  $\text{hm}^3/\text{año}$  en los 4,016  $\text{km}^2$  de superficie del acuífero. Por lo que la  $\mathbf{R_v = 11.9 \text{ hm}^3/\text{año}}$ .

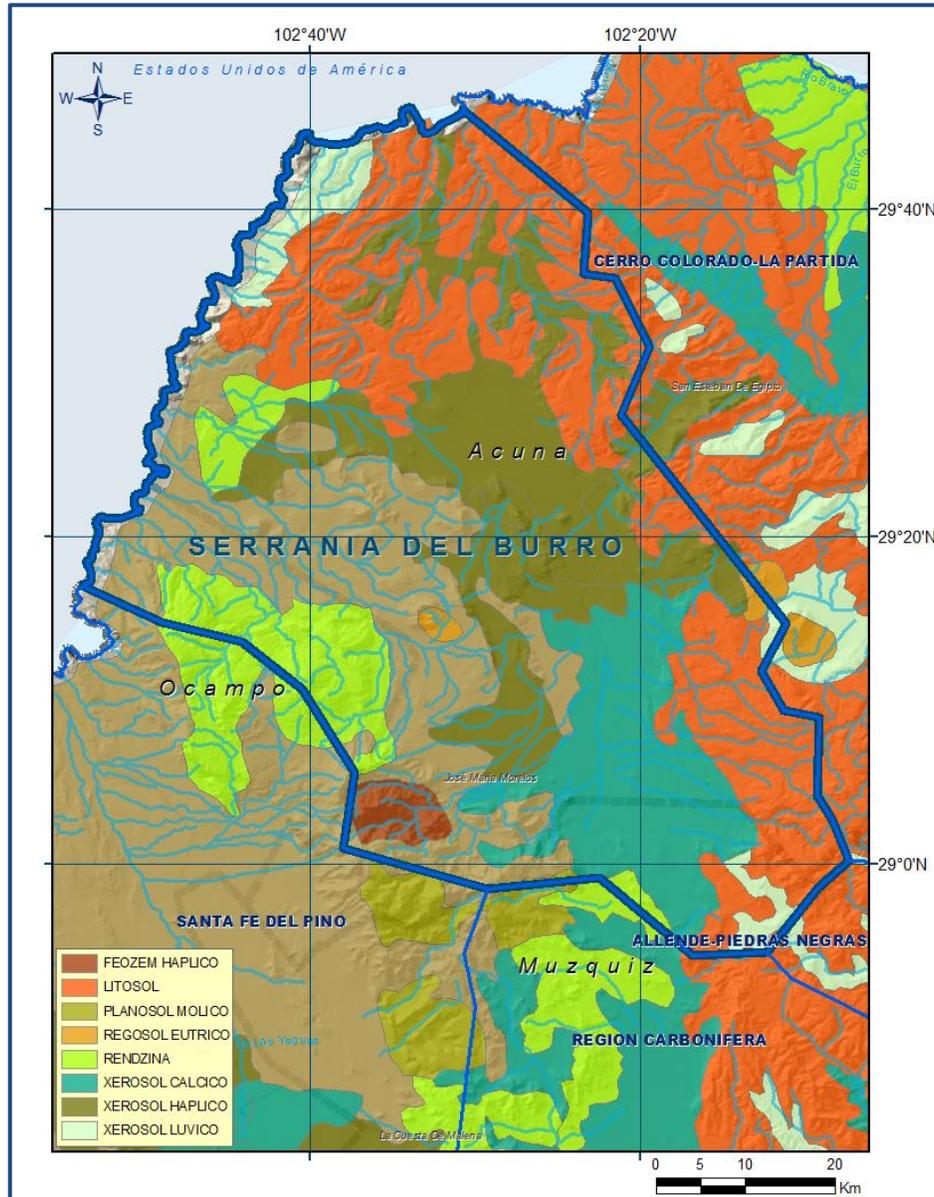


Figura 4. Tipo de suelo

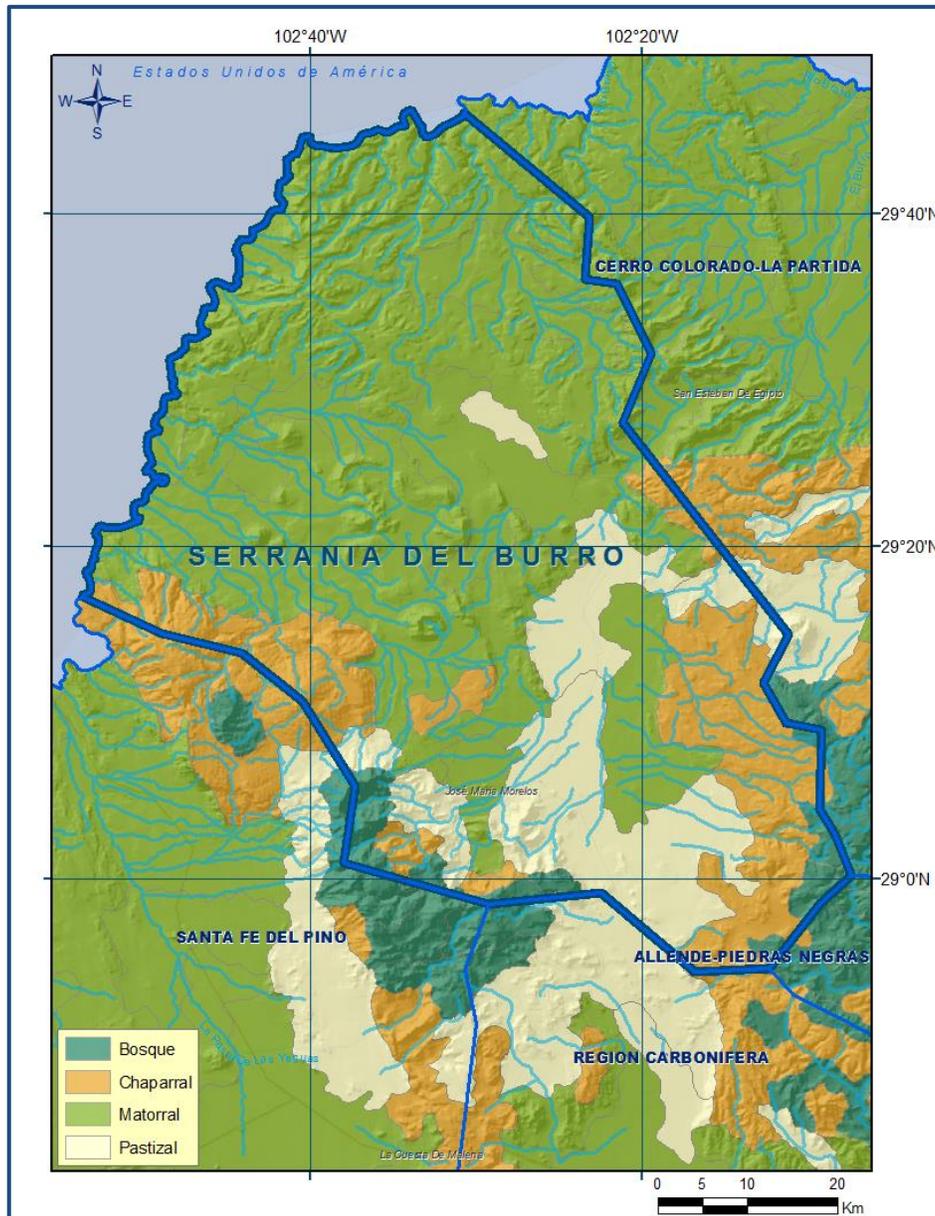


Figura 5. Uso de suelo

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), por manantiales (Dm) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No hay flujo base en ríos, ya que ambos son de régimen intermitente.

### 7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **0.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

### 7.2.2 Descarga por manantiales (Dm)

La descarga a través de los manantiales se determinó mediante su aforo directo. Como resultado de esta actividad se determinó que su volumen de descarga asciende a los 11 Ips, es decir **0.3 hm<sup>3</sup> anuales**.

## 8. 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:

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

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

### 8.1 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 forma de recarga natural. Para este caso, su valor es de **11.9 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2 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 Serranía del Burro, se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **0.3 hm<sup>3</sup> anuales**, que corresponde a la descarga de los manantiales que son aprovechados para el uso doméstico.

### **8.3 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 **933,153 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 de 2022**.

### **8.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= \text{R} - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 11.9 - 0.3 - 0.933153 \\ \text{DMA} &= 10.666847 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **10,666,847 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, 2010. Estudio para determinar la disponibilidad de los acuíferos Santa Fe del Pino, Hércules, Laguna el Guaje, Laguna el Coyote, Acatita, Las Delicias, Serranía del Burro y Valle de San Marcos, en el estado de Coahuila, elaborado por el Instituto del Agua del Estado de Nuevo León.