



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO SILAO-ROMITA (1110), ESTADO DE  
GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Provincias fisiográficas.....	7
3.2. Clima.....	9
3.3. Hidrografía.....	9
3.4. Geomorfología.....	10
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
4.1. Estratigrafía.....	15
4.2. Geología estructural.....	21
4.3. Geología del subsuelo.....	23
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
5.1. Tipo de acuífero.....	25
5.2. Parámetros hidráulicos.....	26
5.3. Piezometría.....	27
5.4. Comportamiento hidráulico.....	27
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	30
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>31</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>32</b>
7.1. Entradas.....	32
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	33
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	33
7.1.3. Recarga incidental (Ri).....	34
7.2. Salidas.....	36
7.2.1. Bombeo (B).....	36
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$ .....	36
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>37</b>
8.1. Recarga total media anual (R).....	37
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	38
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	38
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	38
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>40</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 Silao-Romita, definido con la clave 1110 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo centro-occidental del estado de Guanajuato, entre los paralelos 20°42' y 21°13' de latitud norte y los meridianos 101°04' y 101°45' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1,881 km<sup>2</sup>.

Limita al norte y este con el acuífero Cuenca Alta del Río Laja, al sur con Irapuato-Valle, al suroeste con Pénjamo-Abasolo y La Muralla, al oeste con el acuífero Valle de León, todos ellos pertenecientes al estado de Guanajuato (figura 1).

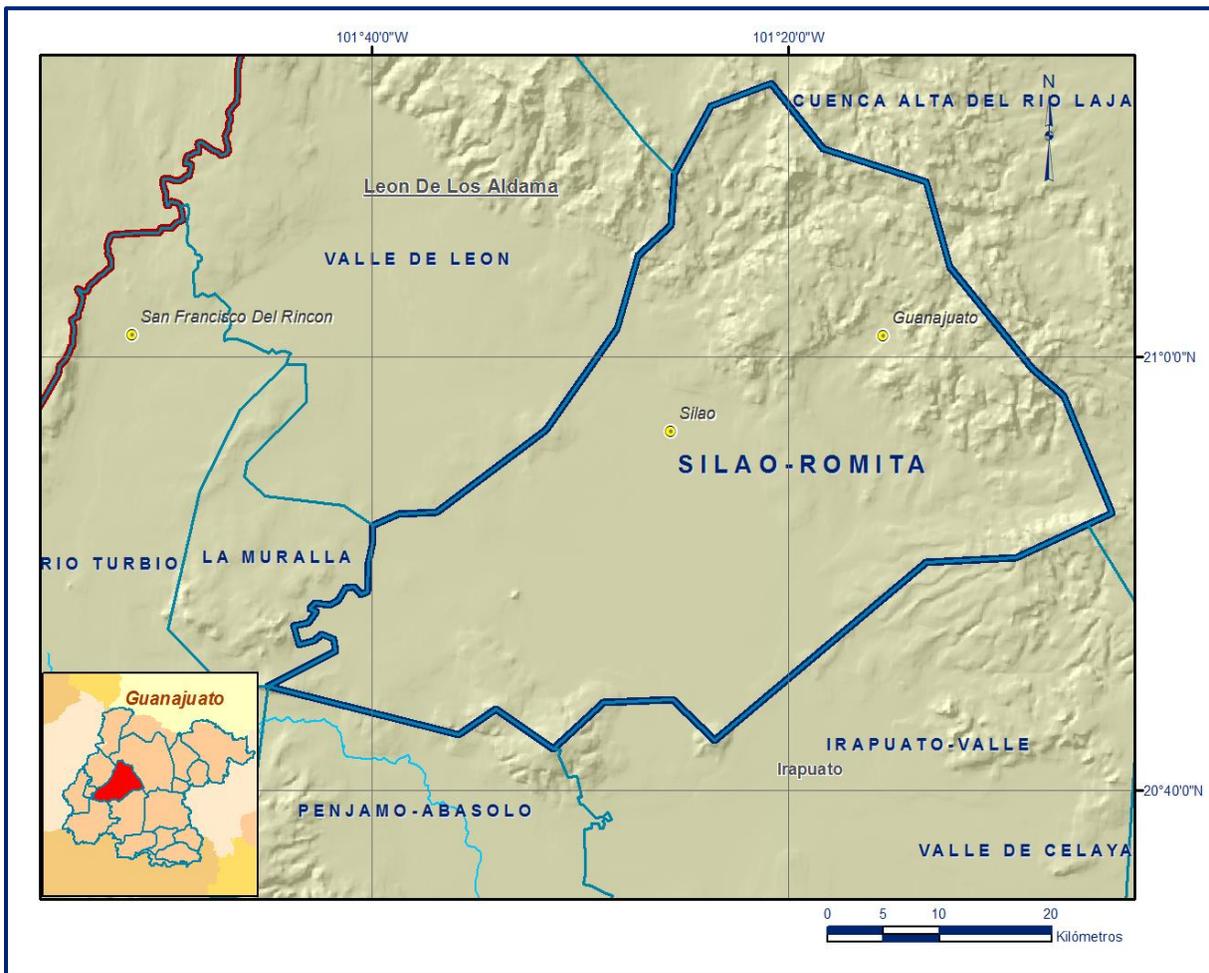


Figura 1. Localización del acuífero.

Geopolíticamente, la superficie del acuífero comprende la mayor parte de los municipios de Guanajuato, Silao y Romita, así como porciones menores de León, San Felipe, Manuel Doblado, Irapuato, Abasolo y Dolores Hidalgo.

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 1110 SILAO-ROMITA							OBSERVACIONES
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	23	32.5	20	42	18.0	
2	101	25	33.3	20	44	10.4	
3	101	28	51.6	20	44	2.1	
4	101	31	16.0	20	41	54.6	
5	101	34	2.0	20	43	46.2	
6	101	35	48.9	20	42	33.8	
7	101	44	57.6	20	44	49.0	
8	101	41	42.6	20	46	23.9	
9	101	41	48.3	20	46	58.2	
10	101	42	22.6	20	47	12.6	
11	101	42	45.5	20	46	54.5	
12	101	43	29.0	20	46	44.3	
13	101	43	45.6	20	47	36.1	
14	101	43	1.9	20	47	43.2	
15	101	42	38.0	20	48	15.4	
16	101	42	56.3	20	48	23.8	
17	101	42	42.3	20	48	37.8	
18	101	42	0.2	20	48	33.6	
19	101	41	35.0	20	48	47.7	
20	101	41	15.3	20	49	19.9	
21	101	40	47.3	20	49	22.7	
22	101	40	30.5	20	49	1.7	
23	101	40	12.2	20	49	10.1	
24	101	40	8.0	20	50	31.4	
25	101	39	55.4	20	51	30.3	
26	101	39	56.8	20	52	15.3	
27	101	38	43.2	20	52	47.0	
28	101	36	52.2	20	52	52.1	
29	101	31	37.4	20	56	39.1	
30	101	28	12.0	21	1	19.2	
31	101	27	12.0	21	4	41.7	
32	101	25	37.7	21	6	6.8	
33	101	25	26.2	21	8	31.0	
34	101	23	41.6	21	11	38.0	
35	101	20	48.0	21	12	41.6	
36	101	18	19.2	21	9	38.5	
37	101	13	21.9	21	8	8.2	
38	101	12	13.4	21	4	11.2	
39	101	8	15.4	20	59	27.6	
40	101	6	45.4	20	58	12.8	
41	101	4	26.4	20	52	48.1	
42	101	5	38.0	20	52	18.1	
43	101	9	2.1	20	50	45.7	
44	101	13	22.8	20	50	33.1	
1	101	23	32.5	20	42	18.0	

## 1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”, al consejo de Cuenca Lerma-Chapala, instalado el 28 de enero de 1993, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guanajuato. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos de veda.

La mayor parte de está sujeta a las disposiciones del “Decreto que establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Silao, Irapuato y Salamanca, en el estado de Guanajuato”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de junio de 1957, esta veda se clasifica como tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

En la porción nororiental está vigente el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Silao, Irapuato y Salamanca, en el estado de Guanajuato”, publicado en el DOF el 12 de junio de 1958, esta veda se clasifica como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

En una pequeña área de la porción occidental del acuífero, rige el “Decreto que establece por tiempo indefinido veda para la construcción o ampliación de las obras para el alumbramiento de aguas del subsuelo, que comprenderá la zona perimetral que ocupaba el Distrito de León, Gto.” publicado en el DOF el 25 de octubre de 1948; esta veda se clasifica como tipo I, en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos. Por último, en una pequeña área del extremo suroccidental rige el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en diversos Municipios del estado de Guanajuato”, publicado en el DOF el 14 de noviembre de 1983.

Esta veda se clasifica como tipo II, en los que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3. El principal uso del agua subterránea es el agrícola. En el extremo sur de su territorio, se localiza parte del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma. Los usuarios se encuentran organizados y constituidos en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de Silao-Romita, A.C., instalado el 1 de octubre de 1998.

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

En el área que cubre el acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos de prospección y evaluación, los más relevantes se describen a continuación:

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LOS VALLES DE SILAO-PÉNJAMO, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Realizado en 1980 por Consultores, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).** Entre sus objetivos más importantes destacan la hidrometría de las extracciones, la cuantificación de la recarga media anual que recibe el acuífero y proponer lineamientos para el adecuado manejo y aprovechamiento conjunto de las aguas superficiales y subterráneas. Para cumplir con este objetivo realiza el censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría, nivelación de brocales, muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos, pruebas de bombeo, sondeos geofísicos y reconocimientos de campo.

**SÍNTESIS GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE GUANAJUATO. SERIE DE CARTAS GEOLÓGICAS Y MINERAS DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM, MÉXICO, D.F. Elaborada en 1989 por Martínez Reyes J.**

Hace un análisis de la situación de conocimiento de la geología de la Sierra de Guanajuato, una síntesis geológica de las diversas unidades litoestratigráficas cartografiadas e interpreta la evolución tectónica de ellas.

Propone nombres informales para algunas unidades litoestratigráficas y reiteró las propuestas por otros autores en trabajos previos, definiendo las unidades litoestratigráficas mesozoicas que corresponden al conjunto basal de la sierra, en el orden cronoestratigráfico de más antigua a más reciente

**HERNÁNDEZ L. N., 1991. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL VALLE DE LEÓN, GUANAJUATO. TESIS PROFESIONAL DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA GEOLÓGICA. FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM.** Este es un buen trabajo de referencia porque describe el modelo conceptual del flujo subterráneo, identificando las propiedades de las diferentes unidades hidrogeológicas a partir de la interpretación y recopilación de pruebas de bombeo y aforos que permitieron asignar los parámetros hidráulicos a las unidades de mayor interés hidrogeológico. Define también la columna estratigráfica, describiendo con detalle cada una de las unidades litológicas.

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA DE LA UNAM, 1992. MAPA GEOLÓGICO DE LA SIERRA DE GUANAJUATO.** En este trabajo se realiza un análisis geológico de las diversas unidades litoestratigráficas y se reiteran los nombres de las formaciones propuestas por otros autores, proponiendo además nombres informales para algunas formaciones.

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO MATEMÁTICO DEL ACUÍFERO VALLE DE SILAO-ROMITA, GUANAJUATO. Realizado en 1998 por Lesser y Asociados, S.A. de C.V., para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG).** Es un trabajo de actualización hidrogeológica que tuvo como objetivos principales estimar el espesor y la disposición en el subsuelo de las unidades acuíferas, identificar las estructuras hidrogeológicas, realizar el censo de aprovechamientos e hidrometría de las extracciones, plantear el balance de aguas subterráneas y definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico; todo ello para construir un modelo matemático del flujo subterráneo mediante el cual se propusieron políticas de operación y administración del recurso hídrico subterráneo.

**ACTUALIZACIÓN DE MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS Y DE CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE PÉNJAMO-ABASOLO, CELAYA, LEÓN, SILAO-ROMITA, RÍO TURBIO, RÍO LA LAJA, ACÁMBARO Y LAGUNA SECA, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Realizado en 2003 por FYA Consultores, para la Comisión Nacional del Agua.** Su objetivo fue realizar la piezometría en los pozos piloto que definen la red de monitoreo de cantidad y calidad del agua, cuya información permitió definir las configuraciones del nivel estático; incluyó también la toma de muestras de agua para su correspondiente análisis fisicoquímico.

**PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA DE LAS EXTRACCIONES DEL ACUÍFERO SILAO-ROMITA, 2015. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG).** Presenta piezometría histórica y actualizada del acuífero y la estimación de los volúmenes de extracción, derivadas del censo e hidrometría realizados a contrato para esta dependencia.

La información de estas dos últimas fuentes 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. Provincias fisiográficas**

De acuerdo con la clasificación de Provincias Fisiográficas de Raisz (1964), la mayor parte de la superficie del acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico y la porción norte y nororiental en la Provincia Fisiográfica Mesa Central.

De acuerdo a la clasificación del Instituto de Geografía Estadística e Informática (INEGI), 1997, el acuífero se ubica en estas dos Provincias Fisiográficas, en la Subprovincia Bajío Guanajuatense, perteneciente a la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, y la Discontinuidad llamada Sierra de Guanajuato, que pertenece a la Provincia Fisiográfica Mesa Central. El Eje Neovolcánico es una provincia cenozoica de origen volcánico formada en un ambiente tectónico de arco continental (Ortega-Gutiérrez et al., 1992), que se caracteriza por una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica producto de coladas de lava, conos cineríticos, domos de lava, maars, volcanes escudo, volcanes compuestos y calderas, que se emplazaron en episodios sucesivos entre el Mioceno y Cuaternario. Está orientado en dirección este-oeste atravesando la porción central de la República Mexicana.

Uno de los rasgos más característicos es la presencia de una franja de estratovolcanes que se extienden casi en línea recta alrededor del paralelo 19°. Además de estos estratovolcanes y volcanes tipo escudo, esta provincia también incluye sierras volcánicas, grandes coladas de lava, depósitos de ceniza, así como estructuras de calderas volcánicas. De oeste a este los volcanes más importantes son el volcán de Colima, Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Pico de Orizaba, Cofre de Perote y La Malinche. Existen otros muchos conos volcánicos que, aún y cuando su extensión es amplia, no alcanzan la magnitud de los mencionados.

La Subprovincia Bajío Guanajuatense se caracteriza porque en ella predominan derrames basálticos, numerosos volcanes y lagos, cuya morfología, orientación y distribución sugieren que representan fosas tectónicas, por lo que también se le conoce con el nombre de Zona de Fosas Tectónicas; presenta llanuras de aluviones profundos y lomeríos asociados a mesetas

La Provincia Fisiográfica Mesa Central se caracteriza por presentar terrenos predominantemente planos, entre los que destacan los extensos valles ubicados al oriente de San Luis de La Paz y entre San José Iturbide y Doctor Mora.

Sus principales elevaciones están conformadas esencialmente por rocas volcánicas de tipo riolítico, que conforman serranías altas, en forma de mesetas, con elevación media de 2,000 msnm.

La discontinuidad fisiográfica de valles paralelos del suroeste de la Sierra de Guanajuato, se caracteriza por la forma vertical convexa de sus valles; esta discontinuidad está representada por el sistema de topoformas sierra con valles paralelos, los cuales están separados entre sí por áreas planas en sus partes altas.

### **3.2. Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor parte del área cubierta por el acuífero predomina el clima C(w1)(w) templado subhúmedo (intermedio en cuanto a humedad), con temperatura media anual entre 16°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más cálido menor de 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T (precipitación/temperatura) entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

En mayo se registra la temperatura máxima que varía de 21 a 22°C; y enero es el mes más frío con una temperatura que oscila entre 11 a 12°C. El clima C(w2)(w) templado, subhúmedo, (humedad alta) el más húmedo de los subhúmedos, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente hasta 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 18 estaciones climatológicas: Ciénega de Negros, La Luz, Santa Rosa del Mineral, Calderones, El Chapín, Aldama, Irapuato, Arperos, Guanajuato, Cuerámara, El Conejo, El Pinillo, La Sandía, Presa La Gavia, Comanjilla, Romita, Silao y El Huizache, cuyo registro comprende el periodo 1980-2015. Con estos datos y utilizando el método de Polígonos de Thiessen, se determinaron valores promedio anuales de temperatura, precipitación y evaporación potencial de **19.0 °C, 640 mm y 1,890**, respectivamente.

El régimen de lluvias cubre el período de mayo a octubre, con máximos para julio y agosto que alcanzan entre 110 y 180 mm mensuales. La época de estiaje ocurre entre los meses de noviembre y mayo.

### **3.3. Hidrografía**

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, Subregión Hidrológica "Medio Lerma", en las cuencas Río Lerma-Salamanca y Río La Laja.

El drenaje superficial escurre de norte a sur a través de dos corrientes, la más importante es el Río Guanajuato, seguido del Río Silao. El primero nace aproximadamente a 10 km de la ciudad de Guanajuato y desemboca en el Río Lerma, sus aguas son retenidas y reguladas por la Presa “La Purísima”. El Río Silao nace en la porción norte del acuífero, pasa por las inmediaciones de la ciudad que lleva el mismo nombre antes de interceptarse con el Río Guanajuato, al noroeste de Irapuato. Sus aguas son reguladas por la Presa “El Conejo”.

La cuenca del Río Lerma-Salamanca drena la superficie de la zona centro y sur del estado de Guanajuato. Tiene su origen en la Presa Solís en donde recibe las aguas de la subcuencas Presa Solís-Salamanca y forma la conocida bifurcación del Lerma; comprende además los afluentes del centro de la entidad, Salamanca-Río Ángulo, arroyo Temazcatío y Río Guanajuato-Silao.

La cuenca del Río La Laja comprende la porción oriental y central de la entidad, en él se depositan las aguas de la subcuenca Río Lajas-Peñuelitas, en la que se origina el cauce del Río Lajas. También recibe las aguas de los afluentes Río Laja-Celaya, Río Apaseo y Presa Ignacio Allende.

### **3.4. Geomorfología**

El paisaje está dominado por sierras altas, bajas y lomeríos, así como cerros aislados separados por valles y zonas llanas o con muy suave relieve. Predominan las sierras orientadas en sentido NW-SE, como la Sierra de Guanajuato, así como de una serie de aparatos volcánicos plio-cuaternarios que se extienden desde la región noroeste del Valle de Santiago hasta la zona poniente del área.

Las unidades geológicas, al igual que sus geoformas, se agrupan en sierras altas y bajas, bastante disectadas, así como lomeríos de formas suaves, que acusan una larga historia de intemperismo y erosión; y formas juveniles consistentes en mesas, abanicos aluviales, planicies de rellenos sedimentarios, así como algunas sierras altas, bajas y lomeríos.

Son comunes los edificios y formas volcánicas definidas por aparatos de forma cónica, de composición básica e intermedia, volcanes y mesas derivadas de material piroclástico y derrames, así como cuencas lacustres. Las distintas formas de relieve en el área son, por supuesto, reflejo y consecuencia de la historia geológica de la región. El acuífero se localiza en una región cuyo relieve define rasgos geomorfológicos diversos, la mayor parte de origen volcánico y de procedencia fluvial y aluvial.

El relieve de esta porción del Bajío se caracteriza por presentar geoformas especiales producto de los diversos procesos endógenos y exógenos, algunos de los cuales aún prevalecen. Uno de los procesos endógenos más influyente en la conformación del paisaje de la región es el vulcanismo que ha estado presente desde el Paleógeno-Neógeno hasta el Reciente, relacionado estrechamente con eventos tectónicos globales.

Los rasgos morfológicos e hidrogeomorfológicos de la zona permiten identificar dos unidades hidrogeomorfológicas que establecen la relación entre la litología y los factores geomorfológicos dominantes:

Unidad Sierra de Guanajuato. Es la zona montañosa más prominente del área y la constituyen, al menos superficialmente, las unidades litoestratigráficas: Piroxenita San Juan de Otates, Complejo Sierra de Guanajuato, Conjunto Plutónico La Luz, Granito Comanja, Conglomerado Guanajuato, Ignimbrita Cuatralba, Basalto El Cubilete y Gabro Arperos.

En conjunto es muy abrupta y favorable para que, en condiciones de gran precipitación, el agua forme torrentes violentos que disectan densamente el relieve, que implica un alto índice de escurrimiento y una infiltración restringida. Prueba de lo anterior es el hecho de que, en la desembocadura de los cauces principales hacia la planicie, se encuentren presas o bordos de almacenamiento, captadores de los escurrimientos generados en esta unidad hidrogeomorfológica.

Sin embargo, es muy importante denotar que gran cantidad del volumen de agua precipitada que se manifiesta como escurrimiento o infiltración, finalmente se integra al sistema de flujo del agua subterránea como lo demuestran los parámetros geomorfológicos y las observaciones de campo.

Por otro lado, es obvia la presencia de manantiales locales próximos a los contactos litológicos de la Ignimbrita Cuatralba o Basalto El Cubilete, con unidades subyacentes de baja o nula permeabilidad, lo que demuestra la gran capacidad de infiltración de estas unidades.

Unidad Zona del Bajío. Unidad constituida por depósitos de material medianamente consolidado y sin consolidar, que afloran principalmente en las partes topográficas más bajas del valle, producto de la actual acción de los factores exógenos niveladores del relieve.

Se distinguen, según la litología, dos áreas bien diferenciadas: una, franja de transición (pie de monte) y la otra, planicie acumulativa de nivel de base. La Franja de transición (pie de monte) se localiza entre las estribaciones montañosas (sierras y mesetas) y la planicie acumulativa de nivel base del valle de León. Se caracteriza por ser vía de infiltración de los escurrimientos que alcanzan esta unidad litoestratigráfica. El drenaje es de tipo paralelo, con máximo orden de corrientes de 2 y un bajo rango de densidad de disección del relieve. Su origen se debe al proceso erosivo-acumulativo que ejercen algunos factores externos, durante cierto lapso de tiempo.

Por su parte, la planicie acumulativa de nivel base es la de mayor extensión superficial dentro del área de estudio y la que contiene el mayor número de aprovechamientos de agua subterránea y áreas de cultivo; por lo tanto, es la que capta el mayor volumen de agua de riego que proviene del acuífero y de las aguas negras que se distribuyen a través de los canales de conducción. No existe una red de drenaje natural importante, excepto el Río Los Gómez, por lo que se considera una zona prácticamente sin drenaje. El terreno es casi horizontal.

#### **4. GEOLOGÍA**

Desde el punto de vista geológico, el acuífero Silao-Romita se encuentra circunscrito en el límite entre dos provincias fisiográficas que presentan episodios volcánicos característicos (Figura 2).

Por un lado, la Mesa Central dentro de la que se encuentra la Sierra de Guanajuato, que representa un elemento estructural muy importante ya que en ella afloran las rocas más antiguas del estado de Guanajuato; y por otra parte, el Eje Neovolcánico, constituido esencialmente por rocas de composición básica e intermedia, cuya frontera septentrional se encuentra precisamente dentro del sistema-acuífero.

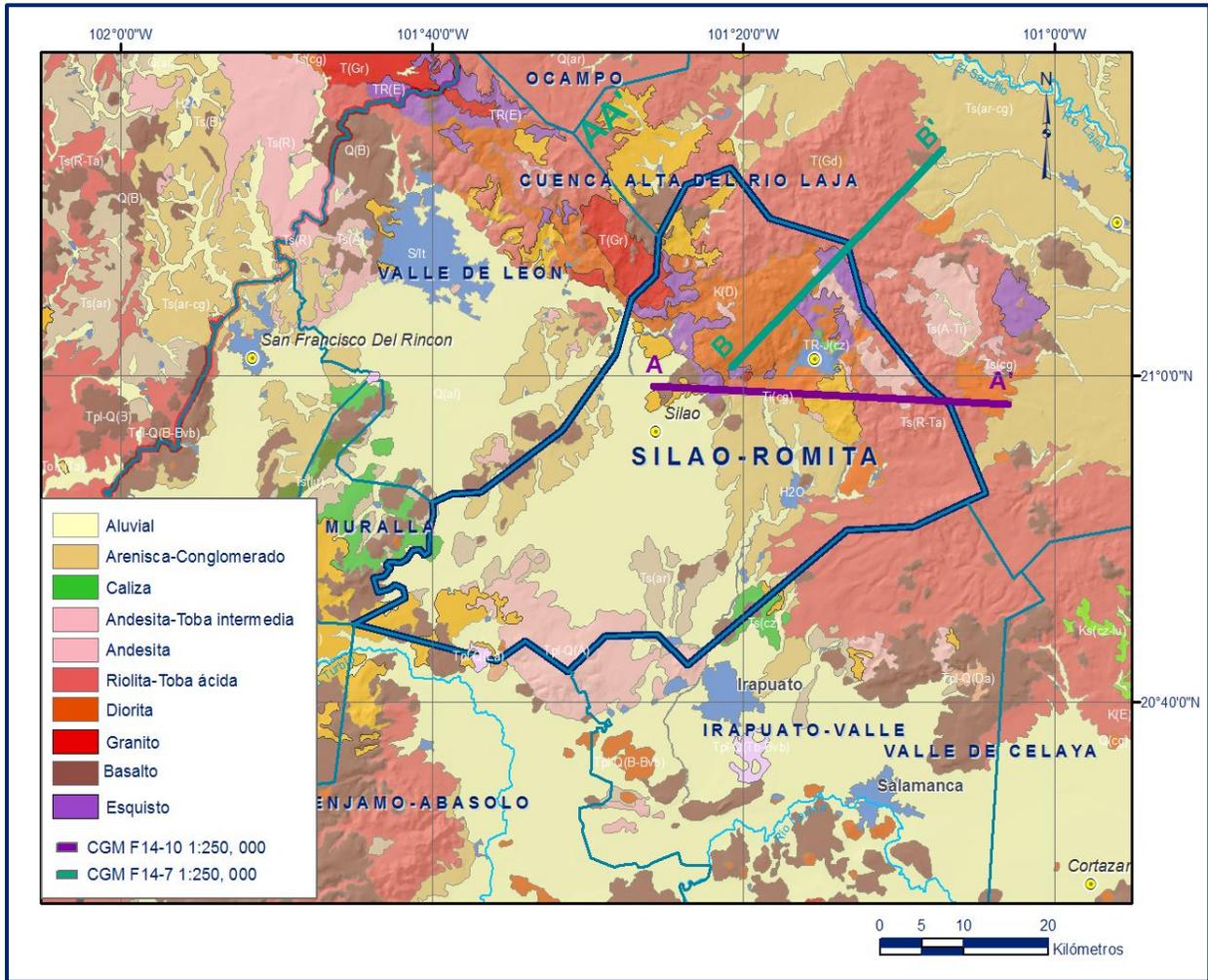


Figura 2. Geología general del acuífero

Dicha frontera se manifiesta por un cambio abrupto en el tipo de rocas volcánicas y por la presencia de estructuras regionales que contienen grandes espesores de rocas volcánicas.

Esto se refleja, como en la mayor parte del estado de Guanajuato, en el afloramiento de secuencias de rocas ácidas representadas por ignimbritas que se correlacionan con el segundo episodio efusivo de la Sierra Madre Occidental. Las rocas más antiguas corresponden a rocas alóctonas de arco magmático (Arco Guanajuato; Ortíz, 1988; Monod et al., 1990), las cuales están superpuestas tectónicamente y consisten de rocas ultramáficas (Unidad San Juan de Otates), diorita (Tuna Mansa) y Tonalita (Cerro Pelón).

Durante el Aptiano-Albiano se desarrolla el arco volcánico de Guanajuato constituido por tres unidades: la Unidad Vulcanosedimentaria, denominada informalmente como Formación Esperanza (Echegoyén et al., 1970), consiste de lutitas, lutitas carbonosas, limolitas, areniscas, pedernal negro y calizas con intercalaciones de andesitas de estructura almohadillada, que en conjunto presentan cierto grado de metamorfismo de facies de esquistos verdes.

No se ha encontrado fauna y no existen estudios que le asignen una edad precisa; por relación estratigráfica, se le asignó una edad Aptiano-Albiano.

La Unidad Basáltica La Luz es una sucesión de derrames de lava con estructura masiva y almohadillada de 1,000 m de espesor, distribuida regionalmente a lo largo de la Sierra León-Guanajuato, sus mejores afloramientos en el área se presentan en la zona de La Luz y cabalga a la secuencia vulcanosedimentaria.

La Unidad Ultramáfica San Juan de Otates presenta sus mejores exposiciones en el arroyo San Juan de Otates, ubicado al noreste de León, donde se observa una serie de escamas tectónicas de rocas ultramáficas, básicas e intermedias, formadas por serpentinitas, peridotitas, clinopiroxenitas serpentinizadas y gabros con texturas de acumulación. Por su posición y naturaleza alóctona, al igual que las demás rocas de arco, se le asigna una edad tentativa del Jurásico Superior (Martínez et al., 1992).

Durante el Albiano Superior se lleva a cabo el emplazamiento de la granodiorita La Angostura, que intrusión a la secuencia Vulcanosedimentaria y a las rocas ultramáficas. Durante el Paleoceno al Oligoceno Inferior se deposita discordantemente la Formación Guanajuato (Monroy, 1988, Botsford, 1909, Wankle, 1928, Guiza; 1949 y Edwards, 1956), compuesta por clastos de cuarzo, caliza y andesitas, cementados en una matriz arcillosa; cuyo espesor se estima en 1,500 m. Cubriendo a la unidad anterior se tiene a la Andesita El Gigante-Bernalejo, compuesta por derrames de lava de composición andesítica, con un espesor mayor de 200 m.

Su edad puede ubicarse tentativamente a principios de Oligoceno Medio, sobre la cual descansa la Formación Chichíndaro, que consiste de una secuencia muy potente de rocas volcánicas de composición riolítica, formada por tobas, lavas, brechas y domos; de edad Oligoceno Medio (Gross, 19675).

Durante el Oligoceno Superior, como consecuencia de los fenómenos de distensión, se lleva a cabo el depósito de sedimentos continentales, rellorando fosas como el Graben de Villa de Reyes, constituidos por una secuencia de horizontes de areniscas y conglomerados formados por fragmentos de rocas volcánicas preexistentes; esta unidad a su vez se encuentra cubierta por la Ignimbrita Cuatralba, constituida por tobas, tobas líticas, riolitas a ignimbritas, cuya edad se asigna al Oligoceno Superior.

A finales del Oligoceno y principio de Pleistoceno se tienen depósitos de rocas sedimentarias continentales llamadas Gravas El Capulín, formadas por arenas, tobas y conglomerados, cuyo espesor alcanza 60 m.

A finales del Pleistoceno se producen las últimas manifestaciones volcánicas que corresponde a los Basaltos El Cubilete, que consisten de lavas basálticas de color gris a gris oscuro, en ocasiones con estructura vesicular, acompañada en su base por escorias rojizas, que presentan variaciones texturales a andesitas.

Finalmente, se acumularon depósitos de aluvión en las partes topográficamente más bajas o en los cauces de los arroyos.

#### **4.1. Estratigrafía**

En la región en que se ubica el acuífero afloran rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas, cuyo registro estratigráfico comprende del Jurásico al Reciente.

### **JURÁSICO**

#### **Piroxenita San Juan de Otates**

Definida por Serváis *et al.* (1982) para referirse al complejo ultramáfico que aflora en la Sierra de Guanajuato, a lo largo del Arroyo San Juan de Otates, ubicado al noreste de León.

Estos afloramientos fueron los primeros en interpretar el origen de estas rocas, como parte de un complejo ofiolítico. La unidad consiste de rocas masivas cristalinas de color verde oscuro en roca sana y verde claro en roca alterada (serpentinizada).

La mineralogía esencial está representada por augita y olivino, como minerales secundarios o de alteración antigorita, clorita, talco y minerales opacos; y la actinolita como mineral formado por incipiente metamorfismo regional de facies esquistos verdes (Martínez, 1987).

Este complejo ultramáfico sobreyace tectónicamente a rocas metavolcánicas del Complejo Vulcanosedimentarios Sierra de Guanajuato, como consecuencia de un cabalgamiento de naturaleza ofiolítica y está cubierta en su extremo norte por productos volcánicos cenozoicos. En ocasiones la piroxenita es cortada por diques de diversa composición de la unidad Conjunto Plutónico La Luz.

## **CRETÁCICO**

### **Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato**

Se caracteriza por un conjunto de facies sedimentarias y volcánicas de origen marino, que constituyen junto con la unidad de Piroxenitas, el basamento de la Sierra de Guanajuato. Aflora ampliamente a todo lo largo de la sierra, ocupando gran parte de las zonas topográficas más altas.

La unidad se divide en dos componentes con notables diferencias litológicas:

Componente sedimentario. Considera las calizas y lutitas dispuestas en estratos delgados, abundantes areniscas de color verde en estratificación gradada con fragmentos líticos de origen pelítico y en menor proporción fragmentos ígneos, de caliza y pedernal, ocasionalmente se observan bancos de conglomerados de color verde con clastos redondeados a bien redondeados de origen diverso (Martínez, op, cit.).

Componente volcánico. Se caracteriza por la presencia de lavas de composición basáltica, andesítica y dacítica, en estructuras masivas o almohadilladas, con niveles de brechas, tobas y detritos de la misma composición, generalmente en tonos verdosos. Mineralógicamente estas rocas presentan plagioclasas, clorita, epidota, calcita, minerales opacos y cuarzo (Martínez, 1987). La unidad presenta fuertes plegamientos, producto de periodos de deformación compresiva y por intrusión del Granito Comanja.

Corona (1988) asigna, al Complejo Vulcanosedimentario Sierra Guanajuato, una edad Titoniano-Valanginiano. La unidad es correlacionable con la Formación Esperanza y con la Formación La Luz del distrito minero de Guanajuato, considerándose a la primera como la unidad basal (componente sedimentario) y la segunda como la unidad sobreyacente (complejo volcánico).

### **Conjunto Plutónico La Luz**

Con este nombre se identifica a diversos afloramientos expuestos al norte del poblado Duarte, compuestos de rocas cristalinas dioríticas, tonalíticas, graníticas y excepcionalmente gabroicas, las cuales se encuentran cortadas por numerosos diques doleríticos y basálticos, algunos caolinizados y oxidados. La mineralogía de las dioritas y granitos está representada por plagioclasas, hornblenda, clinopiroxeno, cuarzo ocasional, minerales accesorios (apatita) y actinolita, clorita, epidota y sericita como minerales secundarios.

La tonalita la conforman oligoclasas, cuarzo, biotita, moscovita, minerales secundarios (clorita, esfena, epidota y sericita) y minerales accesorios de apatita. El rasgo común de toda la unidad es el grado de metamorfismo y alteración que presentan dichas rocas, las cuales sobreyacen tectónicamente a la facies vulcanosedimentarias de la unidad anterior. Su edad corresponde al Cretácico temprano (Martínez, 1992).

## **CENOZOICO**

### **Granito Comanja**

Término utilizado por Quintero (1986) al referirse a un cuerpo intrusivo granítico de dimensiones batolíticas que aflora en gran parte de la Sierra de Guanajuato, cuyos mejores afloramientos se localizan en Comanja de Corona, estado de Jalisco: En el área de estudio, los afloramientos se localizan al noreste, en los poblados Agua Zarca, Rincón Grande, Rincón Verde, Los Alisos, Piedras del Coche y San José de Otates.

El Granito Comanja (granito Arperos, como lo denominó por primera vez González, 1959) es una roca sin deformación importante, que presenta una aureola de metamorfismo de contacto en sus límites con la roca encajonante. La presencia de esta unidad marca el inicio de una paleografía continental para la Sierra de Guanajuato (Martínez, 1992). Se encuentra en discordancia con todas las unidades que cortó durante su intrusión. Se le ha asignado una edad absoluta de 54 Ma (Mujica Albarrán, 1983) que corresponde al Eoceno Temprano.

### **Conglomerado Guanajuato**

Unidad originalmente mencionada como Conglomerado Rojo por Villarello-Torres *et al.* (1906), y renombrada formalmente como Conglomerado Guanajuato por Quintero-Legorreta (1992). Es una secuencia clástica continental de carácter conglomerático del distrito minero de Guanajuato.

Se describe como un conglomerado polimíctico, bien consolidado, dispuesto en estratos gruesos, generalmente inclinados, de color característico rojo-café y tonalidades verdosas, producto de alteración hidrotermal. Está constituido de clastos de diversos tamaños y origen, empacados en una matriz arenosa, cementada por óxidos de hierro y/o carbonatos; ocasionalmente con horizontes de areniscas, limolitas y lutitas.

Cubre discordantemente al conjunto basal anterior y su contacto superior está en discordancia angular con la Ignimbrita Cuatralba.

Ferrusquía Villafranca (1987) reporta que la parte basal de esta unidad, en el distrito minero de Guanajuato, es de edad Eoceno Medio-Eoceno Tardío, determinada a partir del análisis paleontológico de vertebrados.

### **Andesita Bernalejo**

Denominada así por Quintero (1986) al referirse a las andesitas que afloran en la cercanía del poblado Bernalejo; son de color gris oscuro con tonalidades violáceas, muy resistentes a los procesos erosivos, con una textura que varía de microcristalina a porfirítica, donde los fenocristales son principalmente de abundante plagioclasa alterada; excepcionalmente con vesículas, algunas rellenas de calcita. Otra característica es su gran fracturamiento y alteración. Su espesor no se ha determinado, se considera que está en contacto discordante con las unidades intrusivas al poniente de San Francisco del Rincón, y le sobreyacen unidades ignimbríticas. Hernández (1991) sugiere una edad tentativa de Oligoceno Temprano, basándose en la posición stratigráfica de la unidad y considerando válidas las edades del Conglomerado Guanajuato y de la Ignimbrita Cuatralba, además de la correlación con la Andesita El Cedro del distrito minero de Guanajuato, de edad absoluta correspondiente al Oligoceno.

### **Ignimbrita Cuatralba**

Unidad compuesta por material volcánico de naturaleza piroclástica que conforma a las numerosas mesetas de la Sierra de Guanajuato (Quintero, op. cit.) y ampliamente distribuida en todo el estado. Hernández (op. cit.), la divide informalmente en dos miembros, el miembro inferior se compone de una toba masiva, de composición félsica, de color que varía de café claro a crema, poco consolidada, con materiales predominantes cenizas, con escasos fragmentos líticos y pómez, sin colapsar.

El miembro superior es una roca ignimbrítica bien consolidada de espesor variable y textura porfirítica, con abundantes fenocristales de cuarzo, sanidino y escasas plagioclasas, inmersos en una matriz muy fina en algunas porciones vítrea; presenta estructuras fluidal y de flamas que son características, así como el desarrollo de diaclasas columnares. Por su baja resistencia a la erosión, el miembro inferior no siempre se detecta, por lo cual es difícil estimar su espesor total.

El miembro superior descansa en discordancia sobre la Andesita Bernalejo (Hernández, 1991), siendo este contacto a través de un vitrófido de aproximadamente tres metros de espesor.

La posición estratigráfica de la Ignimbrita Cuatralba, establece un contacto discordante, sobreyaciendo al Conglomerado Guanajuato y a la Andesita Bernalejo, y subyace en discordancia a los depósitos continentales no diferenciados del Cenozoico, y a los productos volcánicos Plio-cuaternarios, por relación estratigráfica la edad de la unidad se estima que pertenece al Oligoceno y es correlacionables con el Supergrupo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental. Cronológicamente se ubica en el Oligoceno.

### **Basalto Dos Aguas**

Nombre asignado por Quintero (op.cit.) a los derrames lávicos esparcidos por una estructura volcánica al noroccidente de la ciudad de León. La unidad está conformada por un solo afloramiento extenso y continuo de basalto de olivino, de color gris oscuro y textura microcristalina, asociado a productos piroclásticos de la misma composición generados a partir del Volcán Cerro Dos Aguas.

Los derrames se encuentran interdigitados con la Ignimbrita Cuatralba, por lo que se le asigna una edad tentativa del Oligoceno, considerándolo, además, como un vulcanismo bimodal, típico de una tectónica distensiva.

### **Terciario Granular Indiferenciado**

Se propone este nombre informal para todo el material sedimentario de ambiente continental y lacustre, excepto el aluvión, que aflora en forma de lomeríos redondeados, en la porción media-sur del área, sin considerar el aluvión que se encuentra rellenando la depresión de bajo.

Está constituida por conglomerados, areniscas, limolitas lutitas y depósitos sedimentarios heterogéneos (gravas, arenas, limos y arcillas) de compacidad variable; localmente en la zona de La Muralla, incluye a calizas que varían a margas. Sobreyace discordantemente a la Ignimbrita Cuatralba, se encuentra en contacto con la Andesita Bernalejo por medio de fallas normales y subyace concordantemente al Basalto El Cubilete.

La edad asignada a esta unidad, abarca desde el Mioceno hasta finales del Pleistoceno o principios del Holoceno.

## **CUATERNARIO**

### **Gabro Arperos**

Denominación dada por Martínez (1987) a una roca hipabisal que aflora en los alrededores del poblado Arperos y en la cercanía del poblado Nuevo Valle de Moreno, con una extensión de aproximadamente 3 km<sup>2</sup>.

Se trata de un gabro de color oscuro y textura holocristalina, con minerales de labradorita, piroxenos, olivino y minerales opacos (Martínez, 1992).

Probablemente se relaciona genéticamente con el basalto El Cubilete, considerando que esta última unidad es el elemento extrusivo del Gabro Arperos (Cervantes, 1990). Martínez (1992), señala que la unidad pertenece al Cuaternario, según las relaciones estratigráficas que guarda con las rocas encajonantes.

### **Basalto El Cubilete**

Nombre otorgado informalmente por Martínez (op. cit.) para los basaltos y andesitas que afloran a lo largo de la Sierra de Guanajuato y de manera extensa al sur del área. Se trata de basaltos de olivino y andesitas de augita, que representan los últimos eventos volcánicos de la región.

En algunas localidades se encuentra en discordancia angular, como en el contacto con el Complejo Sierra de Guanajuato, y en otras ocasiones concordantemente, como en el Cerro Gordo ubicado al noroeste de la ciudad de León. La edad propuesta por Quintero (1986) para el Basalto El Cubilete es post-pliocénica y Martínez (1992) generaliza al decir que corresponde al Cuaternario.

## **Aluvión**

Esta unidad agrupa a todos los depósitos continentales clásticos no consolidados (gravas, arenas, limos, arcillas y suelo residual), que se han depositado en el pie de monte, planicie del valle, cima de algunas mesetas lávicas y en las zonas de inundación y cauces de los diferentes ríos y arroyos que cruzan las sierras, mesetas y lomeríos hasta alcanzar el valle de Silao-Romita. Se considera del Holoceno, por ser el último evento que se produjo y que actualmente continúa.

## **4.2. Geología estructural**

Las unidades alóctonas de arco presentan diferentes estilos de deformación como son pliegues, esquistosidad, cizallamiento y cabalgaduras principalmente, producto de los esfuerzos durante la subducción y presión litostática iniciadas en el Aptiano, que continuaron durante el Cretácico Superior, durante las fases de deformación conocidas como Oregoniana y Subherciana.

El desplazamiento de estas unidades parece ser del SSW hacia el NNE, como evidencia las alineaciones mecánicas y minerales de los contactos tectónicos entre ellas (Ortíz et al., 1990), los cuales se observan en el distrito minero de Guanajuato y en la Sierra de León-Guanajuato. Para el Maestrichtiano y Paleoceno Inferior, ocurrió una fase de deformación compresiva Laramídica que generó plegamientos con orientación preferente NW-SE.

Como consecuencia de la relajación de la corteza, ocurrida al concluir los efectos compresivos, se presentan, a partir del Eoceno, fases de tipo extensional que ocasionaron sistemas de fallas normales que se observan en la porción centro y sur del área, con orientación preferencial al NE y en algunos casos N-S.

Estas formaron estructuras regionales de tipo grabens o fosas tectónicas como la de Villa de Reyes, así como el horst de la Sierra de Guanajuato, que tiene un rumbo preferencial N50°W, acompañado de fallas paralelas como la del Bajío. Los arroyos son cortados por fallas y fracturas, con mayor frecuencia de rumbo NW 20-50° SE, y en menor proporción NE 30-50°SW; destacan las estructuras con rumbo general NW-SE como la del Bajío y La Campechana principalmente.

Este sistema ha sido estudiado en diferentes épocas debido a que en él se emplazó el sistema de vetas La Luz.

En el Cenozoico ocurrió el emplazamiento de un batolito de tipo granítico, junto con diques y troncos que afectaron a las rocas del Jurásico y Cretácico, generando metamorfismo y metasomatismo de contacto, dando origen a zonas de skarn con presencia de mineralización de sulfuros base, asociados con plata principalmente (Carta Geológico-Minera Nuevo Valle de Moreno F14-C42, escala 1:50000, SGM, 1999).

Los principales rasgos estructurales del acuífero corresponden a fallas de tipo normal y fracturas. Existen fallas normales de gran magnitud probablemente asociadas con la formación del Eje Neovolcánico. Destaca la Sierra de Guanajuato, la cual corresponde a un complejo ígneo, sedimentario y metamórfico, con un gran número de fallas y fracturas.

Se identifican principalmente dos sistemas de fracturas y lineamientos, el primero y mejor definido con una orientación NE-SW, se localiza en las grandes estructuras de la Sierra de Guanajuato y Sierra El Veinte. El segundo sistema se observa sensiblemente perpendicular al anterior con orientación NW-SE. Las rocas mesozoicas de la Sierra de Guanajuato están afectadas por deformación dúctil, con foliación, pliegues y cabalgaduras que revelan esfuerzos compresivos.

Durante el Cenozoico se presenta una fase distensiva que produjo una serie de fallas normales, dando origen a pilares y fosas tectónicas. Las estructuras mayores presentes en la región son la Falla del Bajío y el Graben de La Sauceda. La primera define el extremo nororiental de la Fosa del Bajío, dando origen a una planicie de relleno aluvial.

Esta estructura tiene un rumbo general NW con inclinación al SW, es interceptada y desplazada al suroeste por el Graben de La Sauceda, perdiendo, aparentemente, su continuidad hacia el sur (Carta Geológico-Minera F14-C53 "Aldama", escala 1: 50,000. SGM, 2002).

El Graben La Sauceda está formado por una serie de fallas normales escalonadas de orientación NE-SW, que morfológicamente se traduce en un valle que interrumpe bruscamente la continuidad fisiográfica de la región con desniveles topográficos que alcanzan 200 m. Constituye el límite suroccidental de la Sierra de Guanajuato. Está definido por tres fallas principales:

La falla Septentrional, la falla Meridional y la falla La Gloria, ésta última paralela a la falla Meridional y se ubica entre las dos anteriores. La edad del graben puede considerarse del Pleistoceno, debido a que las fallas afectan a unidades de esta edad (Nieto-Samaniego, 1985).

La porción noreste se caracteriza por la presencia de rocas mesozoicas afectadas por una anisotropía propia de las rocas metamórficas de bajo grado. La esquistosidad se desarrolla asociada al plano axial de pliegues isoclinales y cabalgaduras. En esta zona se presentan fallas normales mineralizadas del distrito minero de Guanajuato, en general paralelas a la estructura del Bajío.

#### **4.3. Geología del subsuelo**

Con base en información geológica superficial, cortes litológicos de pozos y resultados de la interpretación de sondeos geofísicos, se establece que el agua subterránea se presenta en un ambiente hidrogeológico constituido por un sistema distensivo de bloques tectónicos escalonados formados en rocas volcánicas y piroclásticas de composición riolítica, rellenas de material terrígeno de origen continental, de la unidad Terciario Granular Indiferenciado, que conforma la mayor parte del subsuelo que presenta granulometría y compactación variables.

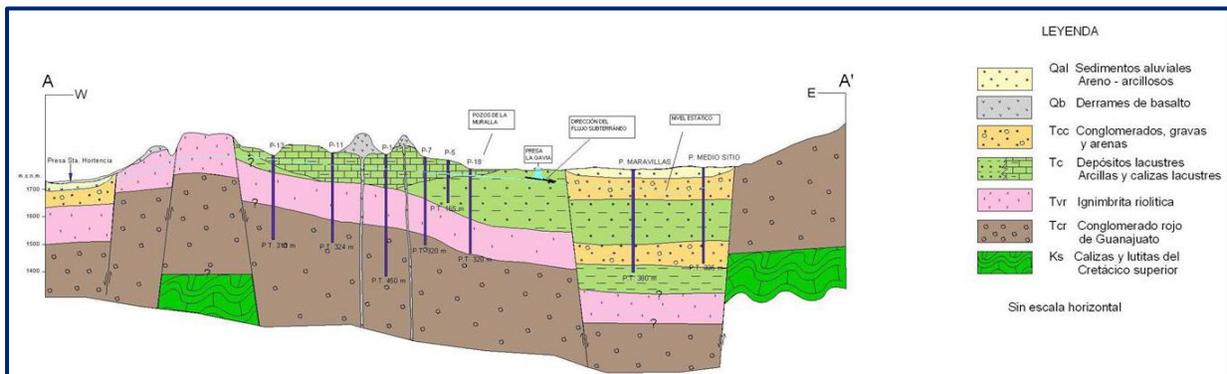
El sistema acuífero está conformado, en su porción superior, por un medio granular constituido por depósitos aluviales cuyo espesor es mayor a 100 m y está controlado estructuralmente por la presencia de fallas que generan fosas en el subsuelo, así como areniscas y conglomerados; y en su porción inferior por un medio fracturado alojado en rocas volcánicas, principalmente de composición riolítica y en menor proporción basáltica, que afloran en la mayor parte de su superficie. El paquete en su conjunto está afectado por tectonismo, generando un sistema de fosas y pilares tectónicos. Intercalados entre los depósitos clásticos, se presentan horizontes y lentes arcillosos, que ocasionan distintos niveles piezométricos identificados por medio de los pozos. Otro aspecto notable es que las rocas riolíticas se ubican a profundidades alrededor de 100 m en la porción occidental del valle, en tanto que hacia la región comprendida entre Silao y Romita no han sido detectadas por las obras de explotación, posiblemente debido a la presencia de una falla normal. La existencia de lentes de sedimentos arcillosos lacustres, depósitos tobáceos y calizas arcillosas lacustres, interestratificados a diferentes profundidades, provocan condiciones locales de semiconfinamiento, separando estratos de mayor permeabilidad.

Las fronteras son convencionales y están definidas por los parteaguas de las elevaciones topográficas que delimitan el acuífero. El valle se encuentra parcialmente limitado al oeste por los lomeríos de La Muralla, al norte y este por la Sierra de Guanajuato y al sur por las Sierras de Pénjamo y El Veinte.

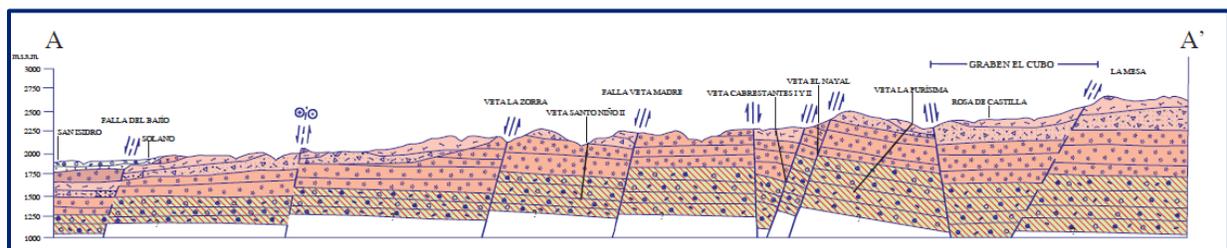
Estas sierras, con excepción de la de Guanajuato, se encuentran constituidas por rocas ígneas extrusivas que funcionan como zona de recarga, en tanto que la Sierra de Guanajuato, al estar conformada por un complejo ígneo-sedimentario que se comporta como impermeable.

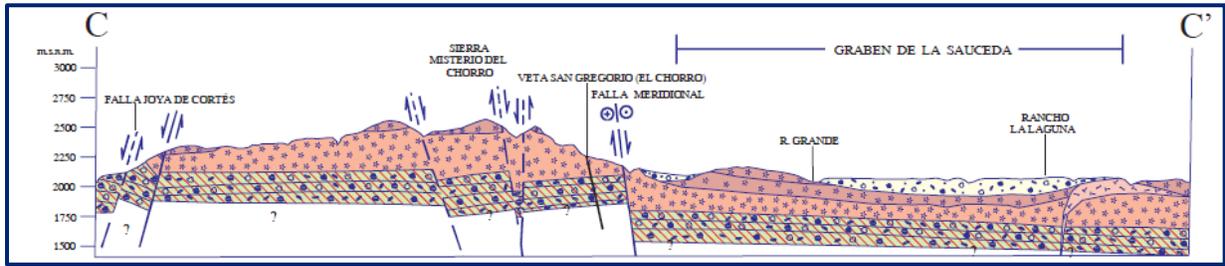
El basamento está representado por las rocas riolíticas, a profundidades mayores de 800 m, areniscas y lutitas, cuando desaparece el fracturamiento, así como las rocas intrusivas que conforman las unidades Conjunto Plutónico La Luz, Granito Comanja, Gabro Arperos y las rocas sedimentarias del Conglomerado Guanajuato. A mayor profundidad el basamento hidrogeológico regional está representado por la secuencia de rocas con metamorfismo de contacto que conforman la piroxenita San Juan de Otates.

La disposición de las unidades de interés hidrogeológico en el subsuelo, así como las estructuras que las afectan, ocasionaron su desplazamiento debido a la presencia de la prolongación de la Falla del Bajío. En las secciones geológicas esquemáticas mostradas en la figura 3, se puede observar las unidades que conforman el subsuelo y la Sierra de Guanajuato.

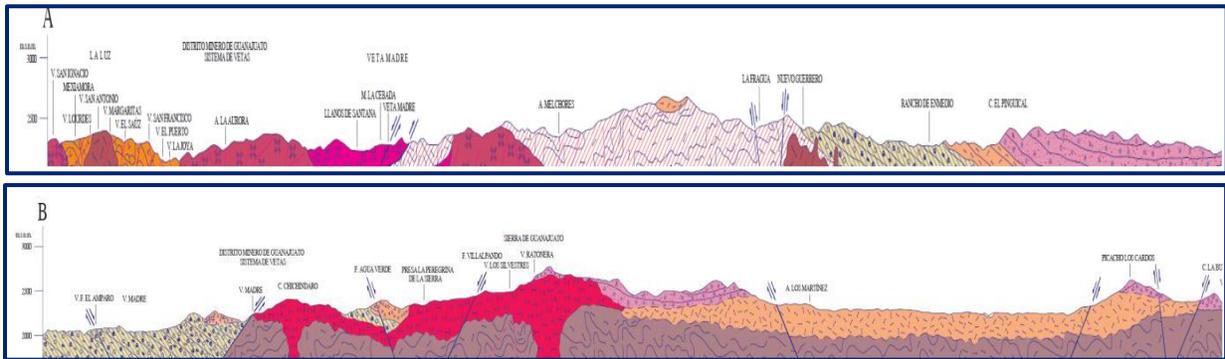


Fuente: CONAGUA-SGT-GAS, (2001)





Fuente: Carta Geológico-Minera F14-C53, Aldama. Escala 1:50000, SGM, 2002



Fuente: Carta Geológico-Minera F14-C43, Guanajuato. Escala 1:50,000, SGM, 1998

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

## 5. HIDROGEOLOGÍA

### 5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten establecer que el sistema acuífero es de tipo **libre a semiconfinado**.

Se encuentra conformado en su porción superior, por un medio granular constituido por depósitos aluviales y fluviales como areniscas y conglomerados; y en su porción inferior por un medio fracturado alojado en rocas volcánicas fracturadas, principalmente de composición riolítica y en menor proporción basáltica, que afloran en la mayor parte de su superficie.

Presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de lentes de sedimentos arcillosos lacustres, depósitos tobáceos y calizas arcillosas, los cuales provocan el almacenamiento de agua a diferentes profundidades. El paquete en su conjunto está fuertemente modificado por tectonismo, generando un sistema de fosas y pilares tectónicos.

Entre los 30 y 120 m de profundidad, se encuentra otro horizonte arcilloso que en ocasiones cambia lateralmente a un basalto compacto de baja permeabilidad.

Estos materiales ocasionan la formación de un horizonte acuífero intermedio cuyo nivel se encuentra a profundidades variables, predominando el rango de 25-60 metros. Los pozos que se encuentran explotando este acuífero alcanzan profundidades del orden de 80-120 metros.

Durante la década de los setentas, el valle de Silao-Romita se encontraba explotado por un gran número de pozos que extraían agua de este horizonte acuífero, empezando a mostrar signos de sobreexplotación que se reflejaban en el abatimiento de los niveles. En esta década se identificó que a mayor profundidad existían sedimentos lacustres y lavas riolíticas con potencial geohidrológico y que frecuentemente presentaban termalismo.

En la mayor parte del acuífero, los niveles someros e intermedios han quedado agotados en varias zonas y, en otras, se encuentran a punto de secarse. La extracción se realiza principalmente de los niveles más profundos.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

Para el análisis de los parámetros hidráulicos se utilizó la información procedente de pruebas de bombeo de larga duración realizadas en estudios previos, concentradas en CEAG (1998) y de otras más efectuadas en el acuífero vecino Valle de León, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se obtuvieron valores de transmisividad en el rango comprendido entre **4.0 X10<sup>-6</sup> y 58.0 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s (0.35 y 5011.2 m<sup>2</sup>/d)**. Si consideramos un espesor saturado promedio de 200 m, los valores de conductividad hidráulica varían de **2.0 x10<sup>-8</sup> a 2.9 x10<sup>-4</sup> m/s (0.002 a 25.06 m/d)**.

En el acuífero vecino Valle de León se utilizó el modelo numérico de Rathod y Rushton (1991) para la estimación de la conductividad hidráulica; los valores obtenidos dependen de la unidad hidrogeológica de que se trate.

En general, varían de **0.03 a 10.0 m/d (3.5 x 10<sup>-7</sup> a 1.16 x10<sup>-4</sup> m/s)** para los sedimentos de la unidad Terciario Granular Indiferenciado, que disminuyen hacia las fronteras del valle, donde se registran valores de **0.1 a 0.4 m/d (1.2 x10<sup>-6</sup> a 4.6 x10<sup>-6</sup> m/s)**, que litológicamente corresponde con las tobas de la Ignimbrita Cuatralba.

Solo 6 pruebas de bombeo contaron con pozo de observación para la estimación del coeficiente de almacenamiento; en tres de ellos varía entre 0.03 y 0.11 que corresponden a acuífero libre. En los restantes son característicos de acuíferos semiconfinados, con valores de 0.2 a  $0.3 \times 10^{-4}$ .

### **5.3. Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, existe información histórica para diferentes años ya que la Dirección Local de la CONAGUA y la CEAG realizan mediciones piezométricas semestrales.

Debido a que para los últimos años se cuenta con mayor apoyo piezométrico, con el objetivo de evaluar una condición actual del acuífero, apoyada en la mejor distribución espacial de la información, se elaboraron las configuraciones de profundidad y elevación del nivel estático para el año 2013 y para la evolución el periodo 2006-2013.

### **5.4. Comportamiento hidráulico**

#### **5.4.1. Profundidad al nivel estático**

La profundidad al nivel estático para el 2013 presentó valores que variaron de 40 a 220 m, que de manera general se incrementan conforme se asciende topográficamente y solo en la zona agrícola ubicada al sur de Silao se modifica esta tendencia por la concentración de la extracción para uso agrícola.

Los valores más profundos, de 150 a 220 m, se registran en la porción oriental y sur oriental del acuífero, hacia las estribaciones de las Sierras de Guanajuato y los lomeríos que lo separan del acuífero Irapuato-Valle, respectivamente.

Los niveles menos profundos, con valores de 40 a 70 m, se presentan en la región centro, al sur de Silao, y sur del acuífero, entre las localidades Mezquite Gordo y Santa Rosa de Rivas. En la zona agrícola ubicada entre Silao y Romita la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 40 a 100 m. (Figura 4).

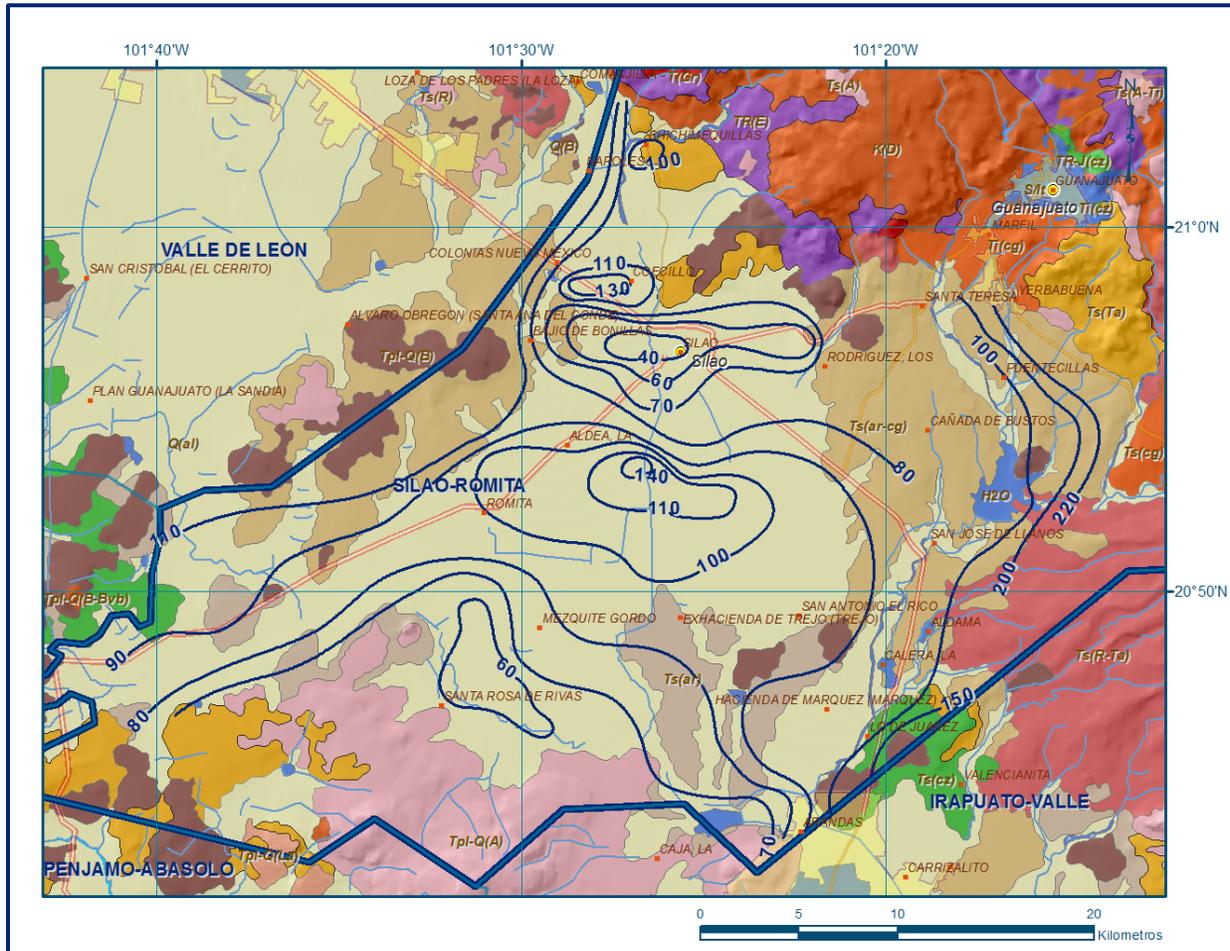


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2013)

#### 5.4.2. Elevación del nivel estático

En el año 2013 la configuración de elevación del nivel estático presentó valores que variaban de 1,760 a 1,620 msnm, los cuales crecen, al igual que los de profundidad, hacia las elevaciones topográficas que delimitan el valle, mostrando una dirección preferencial del flujo subterráneo de norte a sur, que se vuelve concéntrica en la porción central del valle. Los valores más altos se registran al norte, hacia las estribaciones de la Sierra de Guanajuato y los más bajos en la porción central del acuífero, en donde se observa un cono de abatimiento en la zona agrícola definido por la cota 1,620 msnm, localizado al sur de Silao y este de Romita.

Otro cono de abatimiento se ha formado en el extremo suroriental, hacia el imite con el acuífero Irapuato-Valle, definido por la cota 1,640 msnm (figura 5). En la porción sur del acuífero la dirección preferencial del flujo subterráneo es sur-norte.

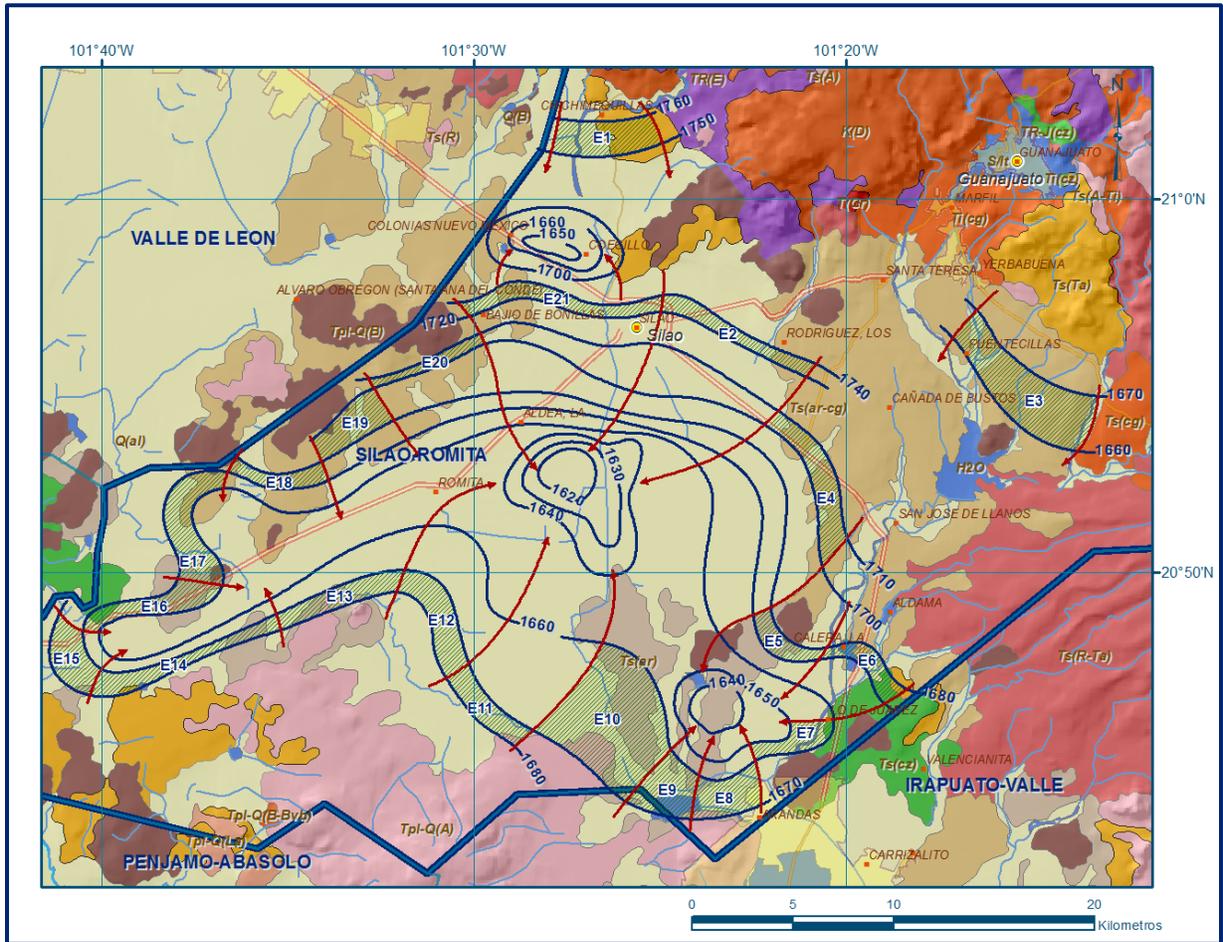


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2013)

### 5.4.3. Evolución del nivel estático

De acuerdo con la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2013, se registraron abatimientos para la mayor parte del área de explotación, que variaban de 5 a 20.0 m, con valores puntuales de hasta 40 m, y un ritmo promedio anual de 1.5 a 2.5 m.

Los mayores abatimientos, de 20 a 40 m, se registraron en la zona agrícola ubicada en la toda la porción central y suroccidental del valle, a lo largo de la carretera que comunica a Manuel Doblado con Romita, así como en el extremo suroriental, entre los poblados San Antonio El Rico y Arandas.

En la superficie restante de la zona de explotación intensiva, los abatimientos disminuyen gradualmente hasta desaparecer hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas que delimitan el acuífero. (Figura 6).

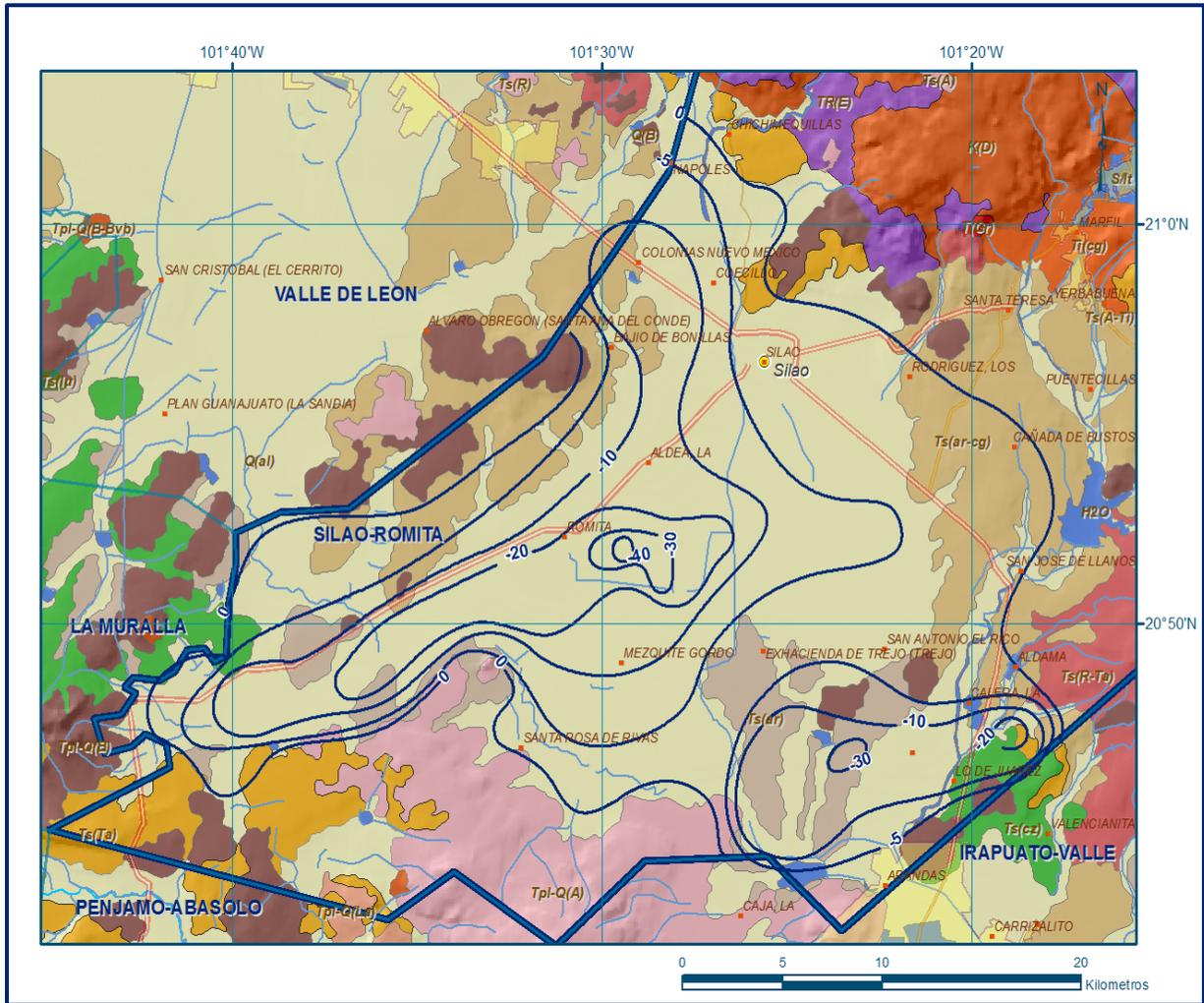


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2006-2013)

### 5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No existe información hidrogeoquímica actual, la más reciente corresponde al estudio realizado en 1998 (CEAG) en el cual como parte de los trabajos de campo se tomaron 15 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona del acuífero para su análisis fisicoquímico. Las determinaciones incluyeron: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, y sólidos totales disueltos, así como cromo, arsénico, sílice, fierro, manganeso, nitritos y nitratos para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasaron los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana, para los diferentes usos.

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presentó valores que variaron de 306 a 904 ppm, los cuales no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido en la modificación a Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022. Los valores de conductividad eléctrica variaron de 490 a 1,450  $\mu\text{S}/\text{cm}.$ , que la clasifican como agua dulce, de acuerdo con American Public and Health Association (APHA), 1995. Los valores de pH varían de 6.9 a 8.5 y de temperatura entre 26.2 y 37.8 °C.

Las concentraciones de cromo hexavalente fueron menores de 0.01 mg/l, valor por debajo del límite máximo permisible que establece la Norma Oficial Mexicana. Los nitritos y nitratos presentan valores por arriba de la norma lo que indica agua contaminada, posiblemente con materia orgánica. Los valores reportados de sílice varían entre 55 y 101 mg/l Se encontró arsénico en concentraciones que varían de menos 0.005 a 0.040 mg/l.

Los sulfatos se encontraron en concentraciones que varían de 12 a 200 mg/l, menor de lo que marca la Norma Oficial Mexicana. El fierro y el manganeso no rebasan la norma establecida.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que predomina la familia bicarbonatada-sódica que representa agua de reciente infiltración, con periodos cortos de residencia, que ha estado en contacto con rocas volcánicas que contienen plagioclasas sódicas. Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS); la mayor parte de las muestras analizadas se clasifican como  $C_2-S_1$ , que corresponde a salinidad media y bajo contenido de sodio intercambiable, y  $C_1-S_1$ , que representa agua de baja salinidad con bajo contenido de sodio intercambiable; ambas clasificaciones se consideran aptas para el uso agrícola sin restricción alguna en el tipo de cultivos y de suelos.

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

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2013 (CEAG) se identificaron un total de 1375 captaciones del agua subterránea: 1225 pozos, 149 norias y 1 manantial; de los cuales 1278 se consideran activos y 97 inactivos de manera temporal. Del total de obras 1049 son para uso agrícola, 268 para abastecimiento de agua potable, 31 para uso industrial y 27 para otros usos.

El volumen total de extracción estimado de **371.3 hm<sup>3</sup>/año**, de los cuales, 332.3 hm<sup>3</sup>/año (89.5%) es utilizado para las actividades agrícolas, 34.5 hm<sup>3</sup>/año (9.3%) es para uso público-urbano, 4.3 hm<sup>3</sup>/año (1.2%) para uso industrial y 0.2 hm<sup>3</sup>/año (0.1%) para otros usos. La descarga del manantial es de 2 lps y para se considera despreciable para fines del balance.

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

El balance de aguas subterráneas se planteó para año el periodo 2006-2013, que es el que presenta mayor cantidad de información, con la mejor distribución espacial; en una superficie aproximada de **734 km<sup>2</sup>** de la zona en la que están dispersos la gran mayoría de los aprovechamientos y en la que se cuenta con información piezométrica.

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:

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

### **7.1. Entradas**

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos y arroyos principales, que en conjunto se consideran como recarga vertical (Rv), y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del riego agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela, la que se produce a lo largo de los canales de riego; del agua residual de las descargas urbanas, así como las fugas en el sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental ( $R_i$ ).

### **7.2.1 Recarga vertical ( $R_v$ )**

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento  $\Delta V(S)$ , así como las entradas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$R_v + R_i + E_h - B = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

**$R_v$**  = Recarga vertical;

**$R_i$**  = Recarga incidental;

**$E_h$**  = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

**$B$**  = Bombeo;

**$\Delta V(S)$**  = Cambio de almacenamiento;

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$R_v = B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \quad (2)$$

### **7.2.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal ( $E_h$ )**

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del área de estudio se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

La recarga al acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre el valle y en la infiltración de los escurrimientos superficiales.

Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2013, mostrada en la figura 5.

Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

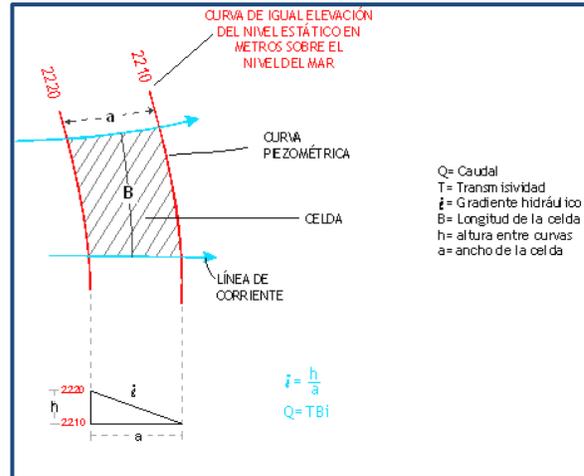
$$Q = B * i * T$$

Donde:

**B**= Largo del canal de flujo;

**i**= Gradiente hidráulico (i);

**T**= Transmisividad en el canal de flujo;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **54.1 hm<sup>3</sup>/año**.

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

### 7.2.3 Recarga incidental (Ri)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, sino que se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2013)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	$h_2-h_1$ (m)	Gradiente i	T (m <sup>2</sup> /s)	CAUDAL Q (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (hm <sup>3</sup> /año)
E1	5060	1685	10	0.0059	0.0010	0.0300	0.9
E2	7590	1205	20	0.0166	0.0010	0.1260	4.0
E3	8430	2650	10	0.0038	0.0015	0.0477	1.5
E4	8190	1565	10	0.0064	0.0015	0.0785	2.5
E5	4335	845	10	0.0118	0.0015	0.0770	2.4
E6	4215	1325	10	0.0075	0.0020	0.0636	2.0
E7	3855	1445	10	0.0069	0.0015	0.0400	1.3
E8	3375	1685	10	0.0059	0.0015	0.0300	0.9
E9	3010	3130	10	0.0032	0.0020	0.0192	0.6
E10	4820	5300	10	0.0019	0.0030	0.0273	0.9
E11	4580	1085	10	0.0092	0.0020	0.0844	2.7
E12	6745	1325	10	0.0075	0.0020	0.1018	3.2
E13	7230	965	10	0.0104	0.0012	0.0899	2.8
E14	12700	915	10	0.0109	0.0012	0.1666	5.3
E15	5060	1565	10	0.0064	0.0020	0.0647	2.0
E16	6025	1325	10	0.0075	0.0020	0.0909	2.9
E17	7950	1445	10	0.0069	0.0020	0.1100	3.5
E18	5540	1085	10	0.0092	0.0025	0.1276	4.0
E19	4580	1685	20	0.0119	0.0020	0.1087	3.4
E20	5540	720	10	0.0139	0.0020	0.1539	4.9
E21	9400	1205	10	0.0083	0.0010	0.0780	2.5
<b>Total entradas</b>							<b>54.1</b>

Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación, dependiendo de la profundidad al nivel estático, de las características del suelo y de las condiciones climáticas. Debido a la falta de información de superficies y láminas de riego por cultivo, se consideró un coeficiente de infiltración de 10 % debido a que la profundidad media a la que se localiza del agua subterránea en la zona agrícola varía de 40 a 100 m y a la permeabilidad media a baja de los sedimentos del subsuelo. El volumen de agua que se destina al uso agrícola es de 332.3 hm<sup>3</sup> anuales; si consideramos que el 10% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero como recarga efectiva, obtenemos un volumen de 33.2 hm<sup>3</sup>/año de los excedentes del riego.

Por otra parte, el volumen anual de agua subterránea para uso público-urbano es de 34.5 hm<sup>3</sup>, tomando en cuenta que existe baja eficiencia en el sistema de la red de abastecimiento de agua potable y debido a que la profundidad al nivel del agua subterránea en la zona urbana de Silao y Romita varía de 60 a 90 m en promedio, un 10 % de este volumen recarga de manera efectiva al acuífero a través de las fugas en la red de distribución de agua potable y en el sistema de alcantarillado; el volumen de recarga de este tipo es de 3.5 hm<sup>3</sup> anuales.

Por lo tanto, **Ri = 3.5 hm<sup>3</sup> anuales.**

## 7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre únicamente mediante la extracción por bombeo (B).

### 7.2.1 Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **371.3 hm<sup>3</sup>/año**.

### 7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2006-2013 mostrada en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico  $S_y$  de 0.10 se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 734 km<sup>2</sup>, mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V(S) = S * A * h$$

Donde:

**$\Delta VS$**  = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

**A** = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>);

**h** = Valor de la variación piezométrica en el período (m);

**S** = Coeficiente de almacenamiento promedio de la zona de balance;

Como consecuencia de la explotación intensiva del recurso, la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciando una variación negativa del almacenamiento.

Los valores obtenidos para cada variación piezométrica se pueden observar en la tabla 3. El volumen anual del cambio de almacenamiento para este periodo es de -638.8 hm<sup>3</sup>, que representa un promedio anual de **-91.3 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 3. Cálculo del cambio de almacenamiento (2006-2013)

Evolución (m)	Abatimiento medio (m)	Área (km <sup>2</sup> )	$S_y$	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
-40	-40	1.0	0.1	-4.0
-30	-30	1.8	0.1	-5.4
-30 a -40	-35	6.0	0.1	-21.0
-20	-20	1.6	0.1	-3.2
-20 a -30	-25	51.7	0.1	-129.3
-10 a -20	-15	173.2	0.1	-259.8
-5 a -10	-7.5	182.9	0.1	-137.2
0 a -5	-2.5	315.8	0.1	-79.0
<b>Área de balance</b>		<b>734.0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>-638.8</b>
<b>Promedio anual</b>				<b>-91.3</b>

### Solución de la ecuación de balance

Una vez calculadas las componentes de la ecuación de balance, procedemos a evaluar la recarga vertical por lluvia e infiltraciones, mediante la expresión (2), que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} R_v &= B \pm \Delta V(S) - E_h - R_i \\ R_v &= 371.3 - 91.3 - 54.1 - 36.7 \\ R_v &= 189.2 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el valor de la recarga total (R) es igual a la suma de las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 189.2 + 54.1 + 36.7 \\ R &= 280.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

## 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, tanto en forma de recarga natural como incidental.

Para este caso, su valor es de **280.0 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 243.3 hm<sup>3</sup> corresponden a la recarga natural y 36.7 hm<sup>3</sup> a recarga incidental.

## **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 Silao-Romita no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto, **DNC = 0.0 hm<sup>3</sup>/año**

## **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 **174,953,879 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.

$$\mathbf{DMA = R - DNC - VEAS}$$

$$\mathbf{DMA = 280.0 - 0.0 - 174.953879}$$

$$\mathbf{DMA = 105.046121 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones **105,046,121 m<sup>3</sup> anuales.**

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, 2011. Determinación de la Disponibilidad en el Acuífero Silao-Romita, estado de Guanajuato.