



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO SAN MIGUEL DE ALLENDE (1107),
ESTADO DE GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	7
3.1 Provincias Fisiográficas.....	7
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía.....	8
3.4 Geomorfología.....	9
4. GEOLOGÍA.....	9
4.1 Estratigrafía.....	10
4.2 Geología estructural.....	15
4.3 Geología del subsuelo.....	16
5. HIDROGEOLOGÍA.....	17
5.1 Tipo de Acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos.....	18
5.3 Piezometría.....	18
5.4 Comportamiento hidráulico.....	18
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	18
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	21
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	23
7.1.2 Recarga por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	23
7.1.3 Recarga inducida (Ri).....	25
7.2 Salidas.....	25
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	25
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	25
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	26
8. DISPONIBILIDAD	26
8.1 Recarga total media anual (R).....	27
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3 Volumen concesionado de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9. BIBLIOGRAFÍA	29

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 San Miguel de Allende, definido con la clave 1107 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la parte centro-oriente del estado de Guanajuato, tiene 358 km² de superficie aproximada, entre las coordenadas geográficas 20° 48' y 21° 00' de latitud norte y 100° 29' a 100° 44' de longitud oeste.

Queda comprendido completamente dentro del municipio San Miguel de Allende y una pequeña porción al sur del municipio de Comonfort. Figura 1.

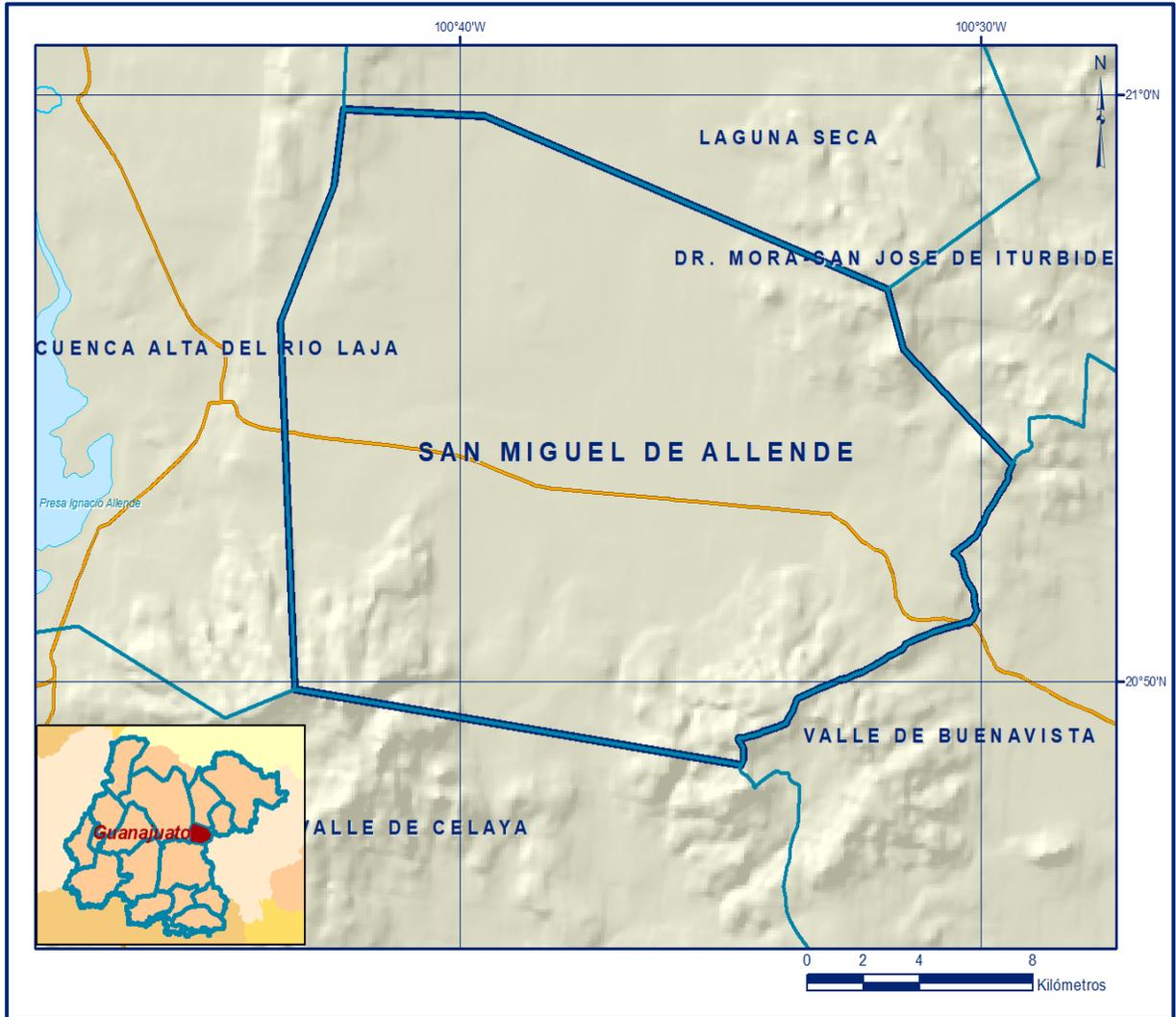


Figura 1. Localización del acuífero

Físicamente se encuentra limitado por las sierras El Cubo y Santa Bárbara al norte, por la Sierra Las Codornices y los cerros el Picacho y Tábula al sur, por las sierras Cuatralba, Guanajuato y Santa Rosa al poniente. Colinda al noreste con el acuífero Dr. Mora- San José Iturbide, al norte con Laguna Seca, al poniente con Cuenca Alta del Río Laja, al sur con el acuífero Valle de Celaya, todos ellos del estado de Guanajuato; y al sureste con el acuífero Valle de Buenvista del estado de Querétaro.

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

ACUÍFERO 1107 SAN MIGUEL DE ALLENDE							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	34	36.2	20	48	35.6	
2	100	43	9.2	20	49	52.4	
3	100	43	26.3	20	56	8.2	
4	100	42	24.4	20	58	28.1	
5	100	42	13.6	20	59	45.9	
6	100	39	31.6	20	59	38.8	
7	100	31	48.6	20	56	42.3	
8	100	31	29.8	20	55	40.6	
9	100	29	24.1	20	53	43	DEL 9 AL 1POR EL LIMITE ESTATAL
1	100	34	36.2	20	48	35.6	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guanajuato. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones de tres decretos de veda, todas de tipo III. (1) “Decreto que establece veda por tiempo indefinido, para la excavación y ampliación de norias y galerías filtrantes y perforaciones de pozos someros o profundos, en una zona situada al Oriente de la ciudad de San Miguel de Allende, Gto.” Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de enero de 1949.

(2) “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona Norte del estado de Guanajuato”. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de enero de 1958.

(3) “Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en una zona que comprende cuatro diversos municipios de los estados de Querétaro y Guanajuato”. Publicado en el Diario Oficial el 19 de diciembre de 1964.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

Dentro de los límites del acuífero no existe actualmente algún Distrito de Riego. Territorialmente el acuífero pertenece a los COTAS Laguna Seca, instalado el 28 de noviembre de 1997 y Río Laja, instalado el 1º de octubre de 1999.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero y la región aledaña se han realizado algunos estudios hidrogeológicos con el fin de evaluar la disponibilidad de agua en la zona, entre los más importantes se mencionan los de 1981 y 2007, cuyos resultados y conclusiones más relevantes se mencionan a continuación.

SARH, Actualización del ESTUDIO Geohidrológico de la Cuenca Alta del Río La Laja, Gto. REALIZADO POR la empresa Geohidrológica Mexicana, S. A., 1981. Este trabajo se elaboró con el fin de construir proyectos de irrigación sustentados con agua del subsuelo y, además, atender solicitudes de perforación de pozos con la misma intención; asimismo, actualizar geohidrológico preliminar de 1971, para conocer el grado de explotación de los acuíferos de la cuenca Alta del Río La Laja, Gto. Determinar la magnitud y procedencia de la recarga del acuífero, prestando especial atención a la aportación de las corrientes superficiales. Determinar el volumen de extracción que se puede aprovechar permanentemente sin inducir efectos perjudiciales. Localizar áreas favorables para el incremento de la explotación. Conocer en forma aproximada la relación agua superficial-agua subterránea.

Para alcanzar los objetivos se realizó el inventario de captaciones de agua subterránea, donde se censaron 1,469 aprovechamientos: 1,304 pozos, 129 norias, 21 manantiales y 15 galerías filtrantes; de los cuales, se encuentran inactivos 141 pozos, 9 norias y 3 manantiales y se hicieron 20 pruebas de bombeo de corta duración, sin pozo de observación.

En particular en las áreas de San José Iturbide-Dr. Mora y San Diego de la Unión-La Presita, localizadas al noreste y norte de la zona de estudio, se llevaron a cabo reconocimientos hidrogeológicos, donde se verificaron algunas de las características hidráulicas de las rocas, que pudieran tener influencia sobre la circulación y almacenamiento de las aguas subterráneas. Se realizaron 51 sondeos eléctricos verticales (SEV) dispuestos en 11 secciones y tuvieron un alcance real de investigación de 400 m como mínimo.

Se hicieron dos recorridos de observaciones y piezométricas adicionales a la obtenida en el censo, seleccionando los meses de diciembre de 1981 y junio de 1982.

De los 1,469 aprovechamientos se extraen 412 millones de metros cúbicos de agua del subsuelo de la zona, destinando el 90% a la agricultura y el 10% al abastecimiento de agua potable y abrevadero.

Los pozos tienen profundidades de perforación promedio de 35 a 400 m, con rendimiento y capacidades específicas de 2 a 100 lps y 0.13 a 82.2 lps/m, respectivamente. Las norias tienen profundidades variables entre 2.5 y 35 m, rendimientos y capacidades específicas entre 0.5 y hasta 20 lps, 0.7 y 26.7 lps/m, mutuamente.

Los caudales de los manantiales son de 0.5 a 20 lps; las galerías filtrantes poseen profundidades de 3 a 12.5 m, gastos específicos de 2.9 a 16 lps y su capacidad específica es del orden de 1.3 a 200 lps/m.

Regionalmente, el escurrimiento subterráneo toma una dirección norte-sur y, aparentemente, descarga al vaso de la presa Ignacio Allende; sus gradientes hidráulicos son de magnitud moderada.

El nivel estático en 1981, varía de 2 a 120 m, según el área o subcuenca en que se encuentre. La transmisividad varía de 0.5 a $10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Los coeficientes medios de almacenamiento varían entre 0.05 y 0.06; están asociados a sistemas regionales de flujo libres, de baja porosidad eficaz (tobas arcillo - arenosas, esencialmente).

De acuerdo con el estudio hidrogeoquímico (1972), el agua del subsuelo es de buena calidad, pues su salinidad correspondiente a toda la zona de estudio varía entre 300 y 800 ppm, ningún ion se presenta en concentraciones excesivas y parece ser que su evolución temporal ha sido prácticamente nula.

ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS LAGUNA SECA, SAN MIGUEL DE ALLENDE Y SALVATIERRA-ACÁMBARO, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. 2007. REALIZADOS POR EL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, PARA LA CNA. El objetivo general de este estudio es: Actualizar el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas de los acuíferos.

Algunos resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias Fisiográficas

Dentro de los límites del acuífero se encuentran dos provincias fisiográficas. La parte norte pertenece a la provincia fisiográfica Mesa del Centro y la porción sur a la provincia Eje Neovolcánico. (INEGI, 1991).

La Mesa Central está caracterizada por la presencia de altas montañas como las que forman la Sierra de Guanajuato que es cordillera de dirección noroeste - sureste que forman el límite occidental del acuífero y las Sierras de Santa Bárbara y el Cubo que forman el límite norte. En estas Sierras predominan las rocas volcánicas de tipo riolítico que por su forma de lluvias de cenizas tienden a integrar mesetas altas y extensas. La erosión que afecta fuertemente a la cuenca media del Río Laja entre Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende ha dado lugar a la presencia de lomeríos que abarcan extensas zonas.

La porción sur está caracterizada por un típico paisaje volcánico donde coexisten mesetas formadas por derrames de lava, altos aparatos volcánicos de forma cónica, con extensos valles intermontanos que están ocupados por grandes espesores de sedimentos lacustres. Los acuíferos se forman principalmente por rocas volcánicas fracturadas de tipo basáltico y por sedimentos granulares formados por gravas y arenas que constituyen el relleno de los amplios valles intermontanos. En los acuíferos localizados en la parte norte del estado correspondientes a la Mesa Central, se encuentran rocas riolíticas fracturadas y sedimentos granulares formados por gravas y arenas. Aunque la extracción de aguas subterráneas no es demasiado cuantiosa en los acuíferos de la zona, la sobreexplotación es importante, ya que es una zona donde llueve poco y por lo tanto la recarga es reducida. Los valles están rellenos por sedimentos granulares de origen lacustre.

3.2 Clima

En la zona el clima imperante se clasifica, según los criterios de Köppen y E. García, modificados para las condiciones de la República Mexicana, como semiseco, templado, con lluvias en verano, un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2, y bajo condición canicular, que quiere decir un lapso de sequía corto durante el verano.

La precipitación media anual varía de 600 mm en el extremo sur en el área de la Presa Ignacio Allende a 800 mm en el flanco oriental de la Sierra de Guanajuato, al poniente de Dolores Hidalgo y a 400 mm en el área de San Felipe y San Diego de la Unión, en el extremo norte del área.

La temperatura media anual es del orden de 16° C, sin que se manifiesten cambios bruscos dentro del área; los meses más calurosos corresponden a abril, mayo y junio, con temperaturas que oscilan entre 18° y 22° como valores medios mensuales, y los meses más fríos corresponden a diciembre, enero y febrero, con temperaturas medias mensuales que oscilan entre 11° y 14.5°.

3.3 Hidrografía

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 12, denominada Lerma-Santiago; en la cuenca Río Laja 1, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de octubre de 2003.

El río La Laja tiene su origen en las sierras de Guanajuato y San Felipe, sigue con una dirección con rumbo SE pasando por las poblaciones de Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende y La Begoña, para continuar, ya fuera de la zona, por Comonfort, y con dirección sensiblemente hacia el poniente confluye al río Lerma a la altura de Salamanca.

El río La Laja cruza el área con una dirección general de sur a norte, con una longitud de unos 100 km, de los 180 que en total desarrolla.

Uno de sus afluentes principales es el río de la “Erre” o “R”, que también nace en la sierra de Guanajuato, y que con rumbo al oriente, finalmente desemboca en el río La Laja. Sus escurrimientos se controlan con la presa Peñuelitas; su régimen es torrencial, de junio a octubre.

Otro afluente importante es el Arroyo Dolores Hidalgo, que es controlado por la presa Álvaro Obregón. Los arroyos Tlaxcaltilla y San Damián también se originan en la sierra de Guanajuato, y corren hacia el oriente hasta aportar al río La Laja. Actualmente el primero de los arroyos mencionados aporta directamente al vaso de la presa Ignacio Allende. También presentan escurrimientos torrenciales durante la temporada de lluvias, quedando seco su cauce el resto del año.

Los principales aprovechamientos de los escurrimientos superficiales son las presas Ignacio Allende sobre el río La Laja, Peñuelitas sobre el río de la R y Álvaro Obregón sobre el arroyo Dolores Hidalgo (El Batán). La primera se localiza a unos 12 km al SW de la población San Miguel de Allende, y aproximadamente a unos 35 km al norte de Celaya, dando origen al Distrito de Riego La Begoña, ya fuera de la zona. Su capacidad es de 251 Mm³.

3.4 Geomorfología

En el acuífero prevalece un conjunto de serranías y mesas, pertenecientes a una subdivisión de la provincia Mesa Central. La ciudad de San Miguel de Allende y sus alrededores están ubicados en el margen septentrional de una región más extensa conocida como El Bajío. Esta se caracteriza por cuencas amplias y planas, cerros espaciados y ocasionalmente, conos volcánicos solitarios y degradados, así como montañas bajas y aisladas que no alcanzan más de 2,500 m de altitud. En la parte central del Bajío existen suelos profundos y oscuros, los cuales sustentan una agricultura rica y próspera.

4. GEOLOGÍA

Las rocas que predominan son depósitos lacustres de edad Paleógeno-Neógeno y cuaternaria, formados por capas de gravas, arenas, arcillas y conglomerados de mediana compactación, con espesores mayores de 200 m en la zona comprendida entre San Miguel Allende y Dolores Hidalgo. Figura 2.

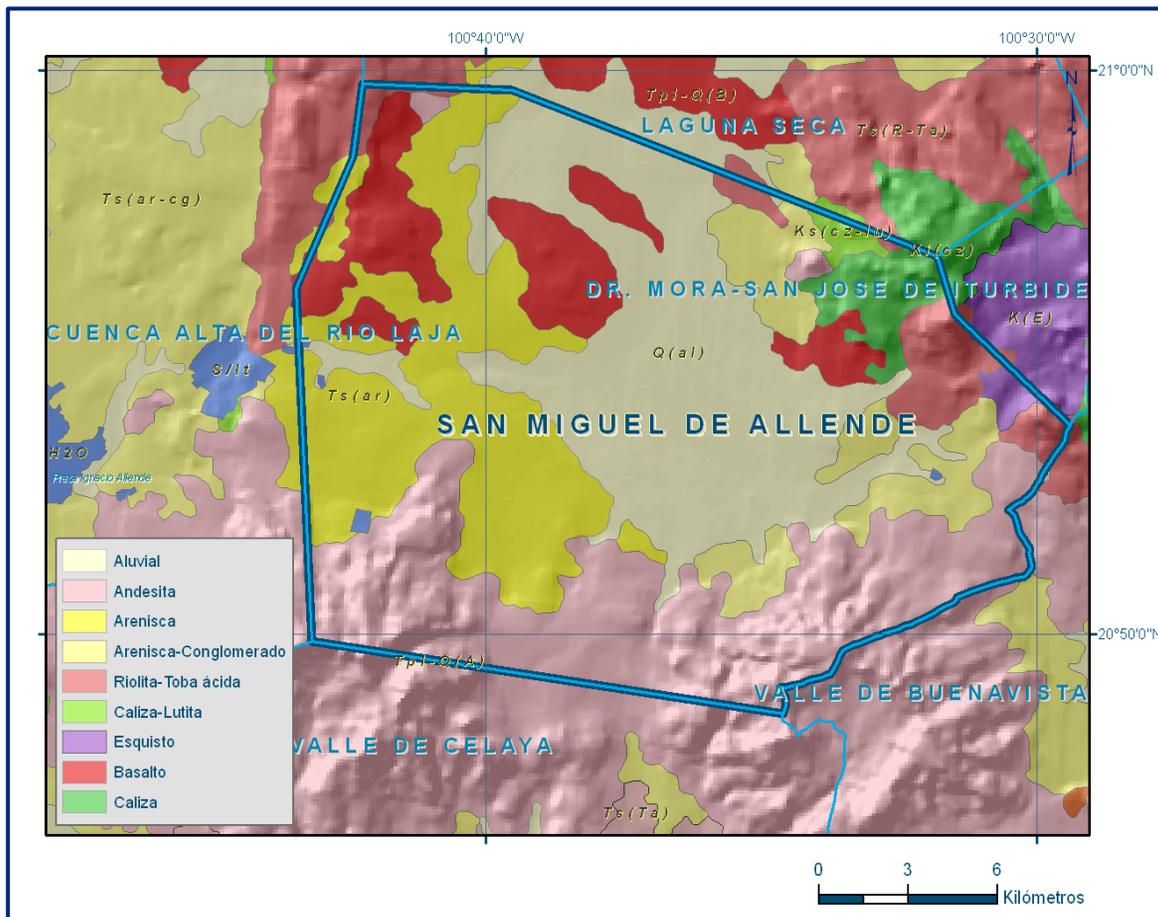


Figura 2. Geología general del acuífero

Las elevaciones que bordean al valle del río Laja al noreste y suroeste están formadas principalmente por rocas volcánicas de tipo riolítico, las cuales también se han detectado mediante perforaciones de pozos, formando el basamento rocoso sobre el que descansan los rellenos del valle.

Al poniente de Dolores Hidalgo, el borde del valle lo constituye la prolongación de la sierra de Guanajuato, y ahí afloran esquistos metamórficos de edad triásica, y pequeños derrames de rocas volcánicas basálticas y andesíticas.

Los depósitos aluviales recientes ocupan una gran extensión superficial, constituyendo la cubierta de suelo vegetal en todos los valles, sin embargo, su espesor es reducido.

4.1 Estratigrafía

En el área del acuífero aflora una secuencia de rocas metamórficas, sedimentarias marinas y continentales, así como volcánicas extrusivas. Cuyas edades datan del Triásico al Cuaternario. Los afloramientos de mayor superficie corresponden a rocas que conforman la cubierta de los valles y lomeríos, esto es, a los depósitos aluviales y residuales derivados de la erosión de las rocas que constituyen las porciones altas donde se encuentran las unidades de mayor consolidación, a continuación, se hace una breve descripción de estas, de las antiguas a las más recientes.

Triásico – Jurásico

Esquistos (TR – E)

Litológicamente corresponde a esquistos sericíticos y cuarzos feldespáticos en los que se observa que los estratos de la roca primaria son de espesores medios (15 a 40 cm), con bandas de cuarzo blanco.

Esta unidad aflora en las porciones sur poniente, sur y sur – oriente del área. En la primera en la Sierra de Guanajuato, en las otras porciones aflora en las sierras que se localizan al norte y sur de San Miguel de Allende y el oriente de San José Iturbide.

Su contacto inferior no se observa y en el afloramiento ubicado al sur de San José Iturbide está cubierta por calizas del Cretácico Inferior y por rocas volcánicas. Hidrogeológicamente se considera prácticamente impermeable, constituyendo por lo tanto el basamento del sistema acuífero del área, además de barreras al flujo subterráneo.

Cretácico Inferior

Calizas (kcza)

Calizas de color gris claro, en capas gruesas (0.40 a 0.80 m), afectadas por plegamiento y con escasos fósiles y huellas de disolución, siendo correlacionable con algunas de las facies de edad Aptiano – Albiano del Mar Mexicano.

Esta unidad aflora, en las inmediaciones del Distrito Minero de Pozos y en la sierra ubicada al sur de San José Iturbide, sitios de donde se tomó la descripción consignada.

Subyace discordantemente a esquistos y es cubierta concordantemente por la unidad del Cretácico Inferior “lutitas y areniscas” y, discordantemente por rocas volcánicas.

Hidrogeológicamente es permeable, ya que debe de exhibir permeabilidad secundaria por la disolución de los carbonatos de calcio que la constituyen; aunque cabe mencionar que en sus afloramientos no muestra acentuadas huellas de disolución, debido probablemente a la escasa precipitación del área, pero en los laboríos mineros de Mineral de Pozos se ha comprobado que aloja a acuíferos de rendimientos altos.

Cretácico Superior

Areniscas –Lutitas (Klut-ar)

Es una secuencia de lutitas calcáreas, calizas arcillosas y esporádicas areniscas de grano fino; las lutitas calcáreas son laminares (estratos menores a 1 cm), en paquetes de 5 a 60 cm y, las areniscas son de grano fino en estratos delgados a medios (5 a 40 cm), exhibiendo un tectonismo acentuado, ya que se advierten muy plegadas.

Por su similitud litológica con unidades del Cretácico Superior (formaciones Cárdenas, Indidudura y Soyatal), se le considera de esa época.

Aflora en las sierras ubicadas al Sur de San Luis de la Paz y al Poniente de San José Iturbide, suprayaciendo concordantemente a las calizas del Cretácico Superior y las cubren discordantemente rocas volcánicas.

Hidrogeológicamente se les considera de muy baja permeabilidad, por la finura de sus componentes y la alta compacidad que presentan, participando dentro del contexto hidrogeológico del área como basamento relativo y barrera al flujo subterráneo.

Paleógeno-Neógeno

En esta área los apoyos para determinar las edades de las distintas formaciones que afloran en la cuenca y que supuestamente pertenece a ellas, están dados por el Conglomerado Rojo de Guanajuato de edad Eoceno – Oligoceno Inferior y por la dotación de la macro – fauna (restos de rinocerontes y caballos, principalmente) que se ha encontrado en el Rancho El Ocote, localizado en la porción sur - centro – poniente del área, en el que los fósiles han sido datados como de edad del Mioceno al Plioceno.

Las rocas que alojan a los fósiles son tobas arenosas y areno – limosas, estratificadas (Tigeb) y prácticamente en posición horizontal, cubiertas por una delgada capa de suelo vegetal.

Andesitas (Ta)

Son primordialmente andesitas que exhiben una estructura densa y masiva, con sistemas de fracturamiento muy localizados.

Sus afloramientos son de poca extensión y muy puntuales, se restringen a la porción sur – poniente de la cuenca, asociados a los esquistos, aunque no se observa que los cubra, sino que se definen a manera de ventanas de entre las unidades correspondientes a rocas extrusivas ácidas que las cubren discordantemente. Su edad puede ser del Oligoceno – Medio o Superior, tomando en cuenta que cerca de la Ciudad de Guanajuato cubren a afloramientos del Conglomerado Rojo, de edad Eoceno - Oligoceno.

Se define como impermeable, por la compacidad que presenta y aunque lo reducido de sus afloramientos determina una injerencia insignificante dentro del esquema hidrogeológico de la Cuenca, tanto en superficie como en el subsuelo de la porción mencionada, funciona como barrera al flujo subterráneo.

Ignimbritas (Tigea)

Esta unidad corresponde principalmente a series ignimbríticas, que agrupan principalmente a rocas consolidadas, de textura fluidal, resultantes de la solidificación de infinidad de gotas de lava que se encuentran en suspensión en los materiales expulsados por los conductos volcánicos, dando lugar a las denominadas tobas soldadas; interestratificadas con esas tobas soldadas ocurren aglomerados, derrames de lavas básicas y, tobas líticas y arcillo - arenosas; exhibiendo en general la unidad grados de compactación altos a medios.

Por lo general, todos los afloramientos de esta unidad definen las grandes elevaciones del área; conformando las sierras ubicadas en la porción septentrional, esto es, en el norte, noreste y noroeste y, parte de las sierras ubicadas en la porción meridional del área. Las rocas de esta unidad presentan en general permeabilidades bajas, la que puede aumentar en las zonas de fallas, cuando no están selladas por material arcilloso desde el punto de vista hidrogeológico conforman los límites de los principales acuíferos de la cuenca y, al mismo tiempo los alimentan al propiciar la infiltración a ellos, a través de sistemas de fracturamiento, de parte del agua que se precipita en sus afloramientos. La edad de esta unidad es Oligoceno - Miocénica, de acuerdo a su posición estratigráfica con respecto a las tobas híbridas y arenas fosilíferas del rancho El Ocote.

Basaltos y Andesitas (Tlgeb)

Esta unidad está constituida por derrames y flujos piroclásticos y aglomerados, de composición principalmente básica e intermedia del tipo de basaltos y andesitas basálticas, que fueron expulsados por grandes aparatos volcánicos del tipo estratovolcanes. Los derrames presentan sistemas de fracturas y los aglomerados y piroclásticos se muestran medianamente compactos. Sus afloramientos constituyen los aparatos volcánicos Cerro El Picacho, que se localiza al sur de San Miguel de Allende y Cerro Tábula, que se ubica al sur – oriente de la misma ciudad; conformando también algunas elevaciones localizadas al norte de la ciudad de San Luis de la Paz.

Las rocas de esta unidad exhiben en general permeabilidades medias, debido al fracturamiento de los derrames y mediana consolidación de los piroclásticos. La ubicación de las mismas en partes topográficamente altas, conformando volcanes y cerros, propicia que funcionen como zonas de recarga a los acuíferos del valle. Por su posición relativa a las tobas arenosas y líticas y, arenas y gravas del Rancho El Ocote, se consideran de edad del Mioceno Inferior – Medio.

Riolitas (Tr)

Son riolitas de textura fluidal y estructura compacta, con escasos sistemas de fracturas. Sus afloramientos se restringen prácticamente a la porción oriente del área, en donde forman aparatos volcánicos como el Cerro El Pinalito y el Cerro Viejo, localizados al oriente de San José Iturbide y sur de San Diego de la Unión, respectivamente o coronan las elevaciones existentes formando mesetas, como es el caso de las que se ubican al norte de San Luis de la Paz y al oriente de Dr. Mora se observa una permeabilidad baja y constituyen barreras al flujo subterráneo.

Tobas híbridas y arenas (Tt)

Son tobas limo – arenosas híbridas, esto es, presentan una buena proporción de componentes arenosos y líticos, estos últimos del tamaño de gravas; además de presentarse asociadas a depósitos fluviales y aluviales del tamaño de gravas y esporádicamente mayores, los que en algunas zonas de la subcuenca son predominantes. La composición de ellas varía entre riolítica y dacítica.

Prácticamente son las rocas que presentan mayor área de afloramiento, ya que rellenan las depresiones conformadas en las rocas más antiguas, observando por lo general espesores mayores a 300 m y grados de consolidación medios a bajos; ocasionalmente presentan lavas basálticas o tobas soldadas interestratificadas.

Desde el punto de vista hidrogeológico son las más importantes, puesto que alojan al acuífero de la cuenca; definiendo permeabilidades bajas a medias.

Cuaternario

Basaltos (Qb)

Son rocas de constitución basáltica, que estructuralmente definen derrames, aglomerados y flujos piroclásticos, estos últimos varían de acuerdo al tamaño de los componentes en tezontles los más gruesos y, tobas y cenizas las más finas. La mayoría de tales derrames fueron extraviados a través de fisuras o pequeños aparatos volcánicos.

Los derrames y aglomerados se presentan fracturados y los piroclásticos sin consolidación. Sus afloramientos se localizan en las porciones sur poniente, norte y oriente de la cuenca, formando amplias y largas elevaciones o mesetas con alturas no mayores a 100 m sobre el valle, mesas o pequeñas lomas, tales como los cerros ubicados en los alrededores del poblado Hacienda de Arriba en la parte sur – poniente del área y, los ubicados al sur de San Luis de la Paz y oriente de Dr. Mora, los del Venado. El Colorado, El Malpaís y El Conejo, en los alrededores del poblado San Diego de la Unión; las mesas El Gusano al poniente de Dolores Hidalgo, San Juan y El Pelayote en las cercanías de San Diego de la Unión y; los pequeños cerros y lomas se localizan principalmente en los valles, como al oriente de San Miguel de Allende, poniente de San Luis de la Paz y sur – poniente de San José Iturbide.

Hidrogeológicamente observan, en general, permeabilidades de grado medio a moderadamente alto y de acuerdo a su posición topográfica pueden participar del acuífero o funcionar como zonas de alimentación.

A pesar de lo anterior, los conductos volcánicos por donde fueron extraviados propician localmente una reducción en la permeabilidad de las rocas que atravesaron, como a lo largo del límite entre las subcuencas Laguna Seca y Río La Laja, sucediendo una situación similar entre los límites de las subcuencas Río La Laja y San Miguel de Allende.

Arenas, arenas conglomeráticas y conglomerados (Qar – cg, Ocg)

Son arenas gruesas a medias y arenas conglomeráticas, en ocasiones, en estas últimas llegan a predominar las gravas y cantos mayores y dar lugar a conglomerados.

Los clastos de los conglomerados son de origen riolítico o basálticos según sea la constitución de las elevaciones al pie de la cual se ubiquen.

Afloran en las porciones Centro – Occidental y Nor – Occidental, en las estribaciones de la Sierra de San Felipe y Guanajuato y define relieves topográficos ondulados (lomeríos), en donde exhiben variable grado de cementación.

Hidrogeológicamente esta unidad es permeable y forma parte del sistema acuífero de la cuenca; constituyendo también parte de sus zonas de recarga para el sistema acuífero de la cuenca.

Depósitos Aluviales (Qal) y Residuales (Qre)

Los depósitos aluviales o aluviones es otra de las unidades que aflora extensamente dentro del área, en las partes bajas y planas de la misma; exhibiendo sus componentes una variable gama en tamaños y composiciones, desde depósitos de limos y arcillas hasta cuerpos de gravas y conglomerados. Por lo general muestran pobre compactación y sus espesores con del orden de unos cuantos metros, tal vez una decena a lo máximo. Hidrogeológicamente funcionan como transmisora a los acuíferos que suprayace; del agua que incide en sus afloramientos.

4.2 Geología estructural

Durante una época del inicio del Paleógeno se formó un panorama estructural de grabens y horst. Los primeros fueron rellenados por material erosionado de los pilares circundantes, y en mayor proporción, del material volcánico producto de esa actividad, principalmente de rocas riolíticas.

De ahí que el material de relleno en las llanuras esté constituido por intercalaciones de tobas riolíticas y materiales de acarreo como arenas y gravas.

El vulcanismo Pliocénico extendió su actividad hasta la era Cuaternaria, aunque con menor intensidad, como lo atestiguan los escasos derrames y conos en el límite oriental y que precisamente cubren a estos sedimentos fosilíferos. Posteriormente se define un período erosivo que ha conformado la actual morfología.

Estructuralmente la cuenca corresponde a un alto del sistema de fallas regionales de tipo normal, como lo comprueban sus alturas topográficas con respecto a los valles ubicados hacia el sur (Bajío y Querétaro), así como los tipos de rocas que observan, como los esquistos del Triásico-Jurásico que afloran ampliamente en la vertiente occidental de la sierra de Guanajuato, al poniente de la presa Ignacio Allende y el suroriente de la ciudad San Miguel Allende.

La falla San Miguel de Allende se compone de una falla principal segmentada, que forma el escarpe donde se ubica la ciudad de San Miguel de Allende. La falla se dividió en tres segmentos: el segmento norte forma un desnivel máximo de 50 m y se extiende fuera del área, desde el poblado de Las Liebres hasta San Andrés, su dirección es N-S.

El segmento centro forma un escarpe con dirección N-S de 38 km de longitud y 200 m de desnivel en promedio, cuyo límite sur es el volcán Palo Huérfano. Este segmento corta los primeros derrames de lava de este volcán.

El segmento meridional está sepultado por los productos del volcán y por sedimentos continentales, su continuación hasta la ciudad de Celaya se infiere por el curso del Río Laja y fue documentada en el subsuelo por información de pozos. Más hacia el sur, el rasgo hipsográfico persiste hasta la latitud de Salvatierra, Guanajuato.

4.3 Geología del subsuelo

La geología del subsuelo está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas principalmente.

Las rocas marinas, formadas por capas de lutitas y areniscas debido a su baja permeabilidad sólo son capaces de producir pequeños volúmenes de agua mediante norias de poca profundidad cuando están fracturadas, funcionando como acuitardos o acuífugos o como basamento geohidrológico. Similares características y comportamiento tienen las calizas marinas, intercaladas con capas de lutitas rojizas, con lentes y bandas de pedernal negro.

Otra unidad está compuesta de rocas basálticas con presencia de fracturamiento lo que les confiere una permeabilidad secundaria. Con permeabilidad variable se presentan las rocas riolíticas que en ocasiones se presentan en forma de tobas suaves de matriz arcillosa, con baja permeabilidad. Otras veces, tienen permeabilidad secundaria, puesto que se encuentran fracturadas y producen caudales significativos, con agua, generalmente, de buena calidad. La última unidad presenta numerosos afloramientos de rocas basálticas, su fracturamiento le confiere una buena permeabilidad.

En relación a los depósitos lacustres, formadores del potente espesor de sedimentos granulares que rellenan los valles, constituidos por arena y grava intercaladas con arcilla y, en ocasiones, de areniscas y conglomerados, tienen buena permeabilidad y capacidad de almacenamiento, debido a su buena porosidad y al espesor de sus depósitos, siendo la unidad más explotada.

Finalmente, el aluvión formado por gravas, arenas y arcillas, son muy permeables y cubren una gran extensión de la zona; sin embargo, sus posibilidades acuíferas son muy limitadas, puesto que tienen espesor reducido, en la mayoría de los casos, constituye solamente la cubierta de suelo vegetal.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de Acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de un acuífero de **tipo libre** heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, conglomerados y depósitos lacustres; en tanto que su porción inferior se aloja en un medio fracturados conformado por rocas volcánicas (basaltos, riolitas y tobas) y sedimentarias (areniscas y lutitas), que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad, las rocas calizas constituyen otra unidad de buena permeabilidad que no ha sido explorada aún, pero se han identificado sus propiedades acuíferas en el Distrito Minero de Pozos.

El medio granular poroso está conformado por interdigitaciones de grava, arena, limo y arcilla, con unos 200 m de espesor en su porción central y se adelgaza hacia las porciones laterales.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento están constituidas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas cuando a profundidad desaparece su fracturamiento y a mayor profundidad el basamento está conformado por esquistos.

5.2 Parámetros hidráulicos

Se determinaron los parámetros hidráulicos tales como la transmisividad y conductividad hidráulica mediante nueve pruebas de inyección y una de bombeo, realizadas durante el estudio llevado a cabo en el 2007. Estos parámetros permiten cuantificar las propiedades del subsuelo en relación con la dinámica del flujo subterráneo.

De acuerdo con el modelo conceptual planteado y el comportamiento observado de las pruebas de bombeo, se decidió interpretar las pruebas utilizando la metodología propuesta por Theis (1935), recuperación de Theis y Neuman (1975). A continuación, en la tabla se presentan los resultados promedio de los parámetros hidráulicos obtenidos de las pruebas de bombeo.

Tabla 2. Resultados de pruebas de bombeo

POZO	X	Y	T (m ² /s)	K (m/s)	T (m ² /día)	K (m/día)
IMTA-SMA-7	325,706	2,319,790	0.00334	0.000038	288.576	3.318
IMTA 161/4	330,780	2,321,198	0.00999	0.000115	863.136	9.936
IMTA-SMA-11	329,896	2,317,662	0.01030	0.000117	889.920	10.109
IMTA-SMA-57	338,074	2,309,361	0.00158	0.000018	136.512	1.572
IMTA-SMA-21	326,507	2,321,445	0.00871	0.000097	752.544	8.398
IMTA-SMA-153	323,646	2,312,375	0.00074	0.000024	63.936	2.074
IMTA 695	330,440	2,319,790	0.00342	0.000043	295.488	3.750
IMTA-SMA-112	330,869	2,313,828	0.00958	0.000083	827.712	7.163
IMTA-SMA-126	328,182	2,312,239	0.00085	0.000005	73.526	0.409
IMTA-SMA_172	325,605	2,317,126	0.00057	0.000003	49.075	0.220

5.3 Piezometría

Durante la realización del estudio de 2007, se efectuó un recorrido piezométrico durante los meses de agosto a noviembre.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La profundidad a los niveles estáticos varía para 2007 entre 90 y 140 m; es controlada por la configuración topográfica y por la extracción de los pozos. Las profundidades mayores se encuentran en la porción central del acuífero y es del orden de 140 m. Figura 4.

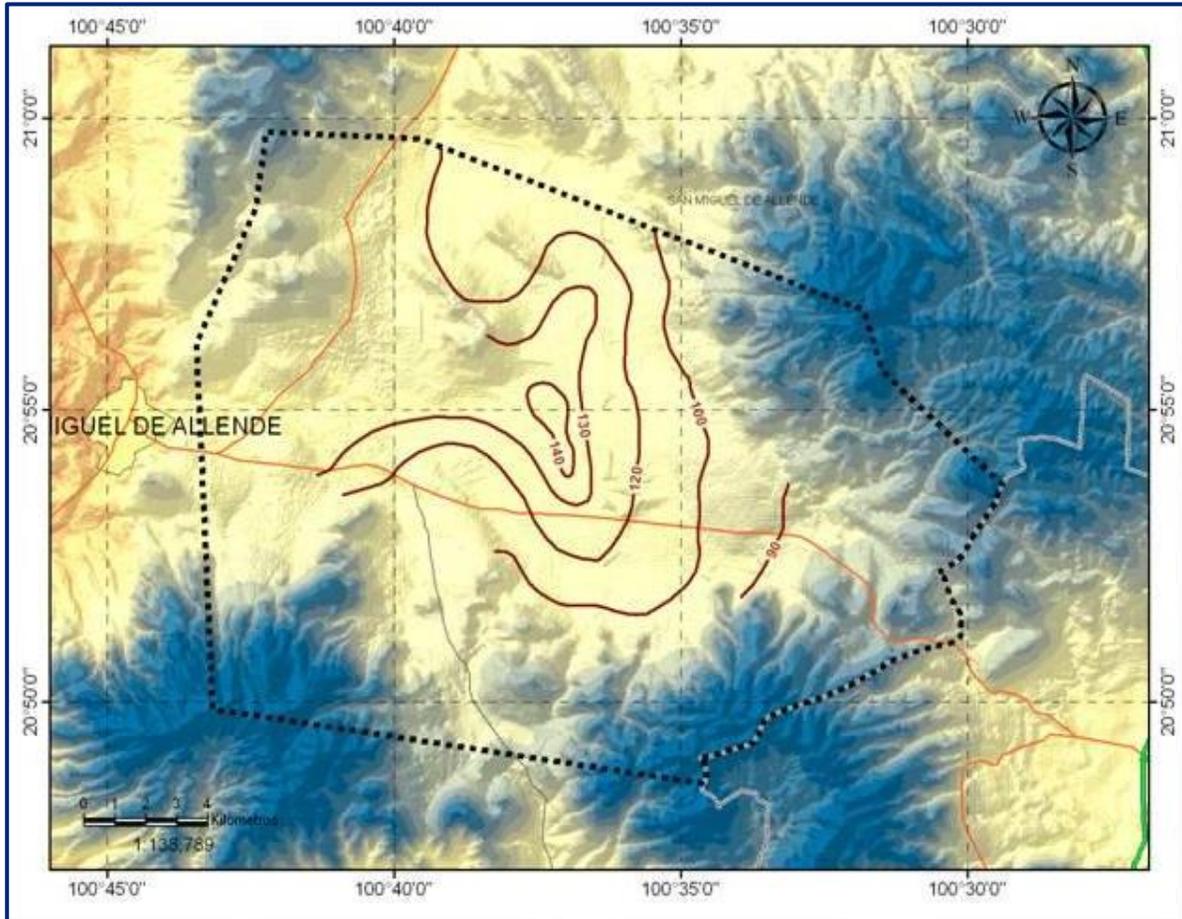


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2007)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La carga hidráulica varía en la zona de 1,970 a 1,915 msnm. Hacia el pie de las montañas los valores son del orden de 1,970 msnm decrecen hacia el centro del valle con valores de 1,915 msnm, se tiene un cono de abatimiento hacia la porción centro-norte.

Hacia la porción sur occidental se observan los menores valores regionales y se infiere que existe una comunicación subterránea en el acuífero adyacente de la Laja. El flujo del agua subterránea de manera general es de oriente a poniente en la porción oriental, y en la porción sur el flujo es hacia el norte. Figura 5.

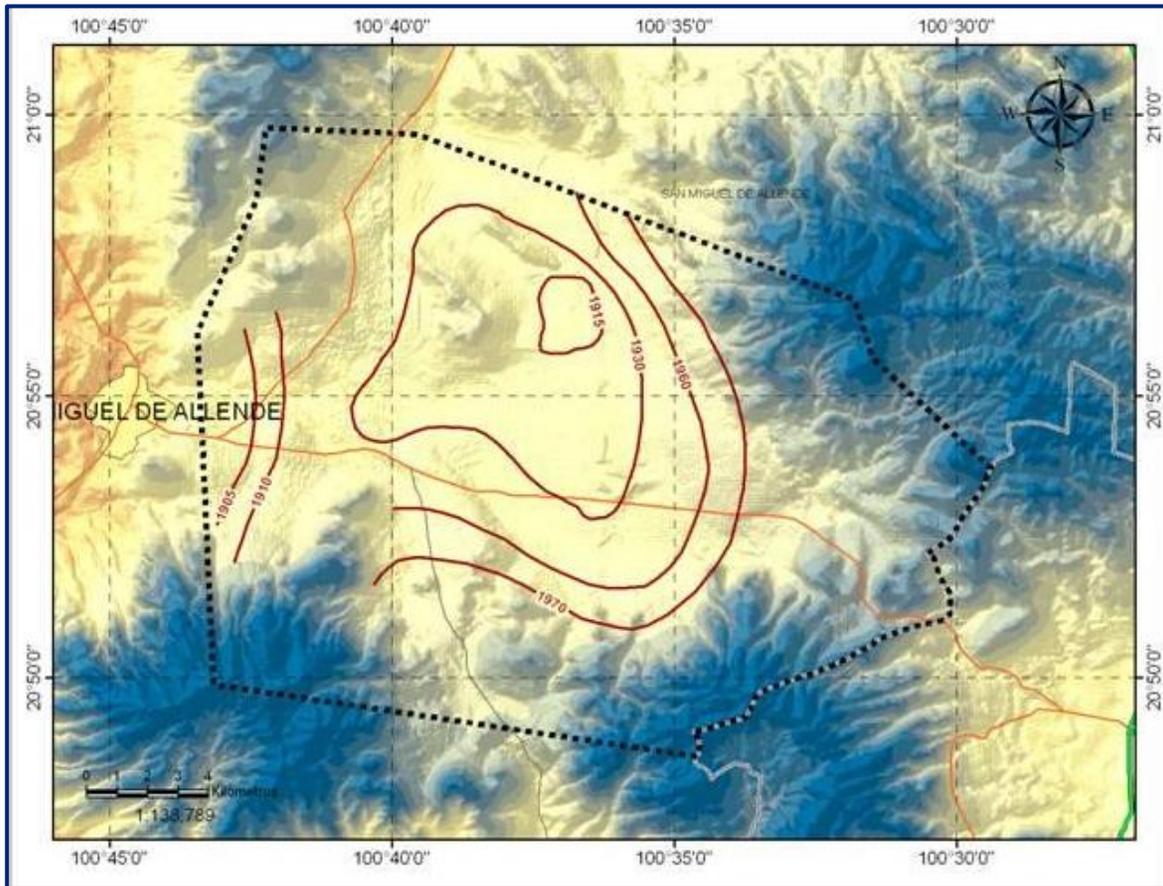


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2007)

5.4.3 Evolución del nivel estático

De la información resultante de diciembre de 2000 y de mediciones piezométricas efectuadas en el año 2007, se observa que en términos generales los niveles del agua subterránea en el acuífero no presentan variaciones significativas en su posición.

Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos y/o del bombeo.

Por estas razones, 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 desarrollados durante el estudio de 2007, se realizaron mediciones de parámetros fisicoquímicos en los pozos censados, de donde se pudieron obtener los siguientes resultados:

En lo que se refiere a la salinidad, el agua subterránea presente en el área, es de media a buena calidad, pues no existen concentraciones que excedan los 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La distribución de Flúor en el área, debido al ambiente geológico, presenta una concentración por arriba de la norma de la Organización Mundial de la Salud que establece un máximo de 1.5 mg/l. Los valores anómalos se presentan, principalmente al norte de la ciudad de San Miguel de Allende, donde es posible medir concentraciones de hasta 3.78 mg/l. El tipo de agua dominante es bicarbonatada sódica, que es típica de ambientes volcánicos. La conductividad es homogénea, salvo por puntos muy localizados que concentran las curvas hacia ellos, pero que son casos aislados.

Se puede resumir que el agua en general, es de reciente infiltración y obedece a un patrón de recarga-descarga típico de una cuenca volcánica. Los escasos datos anómalos representados por concentraciones salinas más altas pueden deberse a muestras que tienen mezcla con agua superficial proveniente de canales o ríos o que provienen de zonas más profundas en el sistema hidrogeológico.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

A partir de los datos recabados en el censo de captaciones realizado en el año de 2007, fue estimada la extracción actual, distribuidos de la siguiente forma: uso agrícola 95.73 %, público urbano 3.52 %, abrevadero 0.50% y uso industrial 0.25%.

En conjunto, el volumen de extracción asciende a **22.1 $\text{hm}^3/\text{año}$** , de los cuales 21.2 $\text{hm}^3/\text{año}$ es de uso agrícola, 0.8 $\text{hm}^3/\text{año}$ de uso público-urbano, y el 0.1 $\text{hm}^3/\text{año}$ restante para uso doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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 de un acuífero:

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

Para este caso particular, dadas las pocas variaciones en niveles estáticos con respecto al tiempo, fue considerado un cambio de almacenamiento nulo, por lo cual se optó por calcular la recarga natural considerándola como incógnita de la ecuación de balance.

De esta manera la ecuación de balance propuesta es la siguiente:

$$R_v + E_h + R_i - B - S_h = \pm \Delta V(s)$$

Donde:

R_v: Recarga vertical

E_h: Recarga por flujo horizontal subterráneo

R_i: Recarga inducida

B: Bombeo

S_h: Salidas por flujo horizontal subterráneo

ΔV(s): Cambio de almacenamiento

7.1 Entradas

La recarga total que recibe un acuífero está constituida por la recarga natural y la recarga incidental o inducida que se origina por la infiltración del agua que se destina a las actividades agrícolas, principalmente, ya que es esta región no existen centros de población importantes, que estén ocasionando fugas en las redes de abastecimiento de agua potable o del drenaje.

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero San Miguel Allende, las entradas están integradas por la recarga vertical (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo horizontal (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola constituye otra fuente de recarga al acuífero, así como las fugas en las redes de abastecimiento. Este volumen se integra en la componente de recarga inducida (Ri).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

$$Rv + Eh + Ri - B - Sh = \pm \Delta V(s)$$

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B + Sh - \Delta V(s) - Eh - Ri$$

7.1.2 Recarga por flujo subterráneo horizontal (Eh)

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para 2007 (Figura 6) y de los valores de transmisividad obtenidos de la interpretación de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos distribuidos en la zona, de acuerdo a la siguiente expresión:

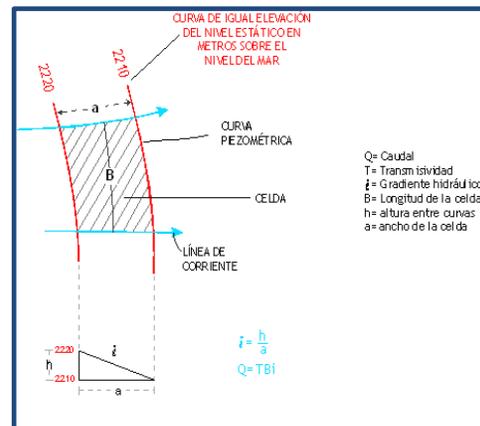
$$Q = B i T$$

Donde:

B: Ancho (m) del canal de flujo;

i: Gradiente hidráulico ($i = (h_2 - h_1) / L$); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo y

T: Transmisividad (m^2/s) en el canal de flujo.



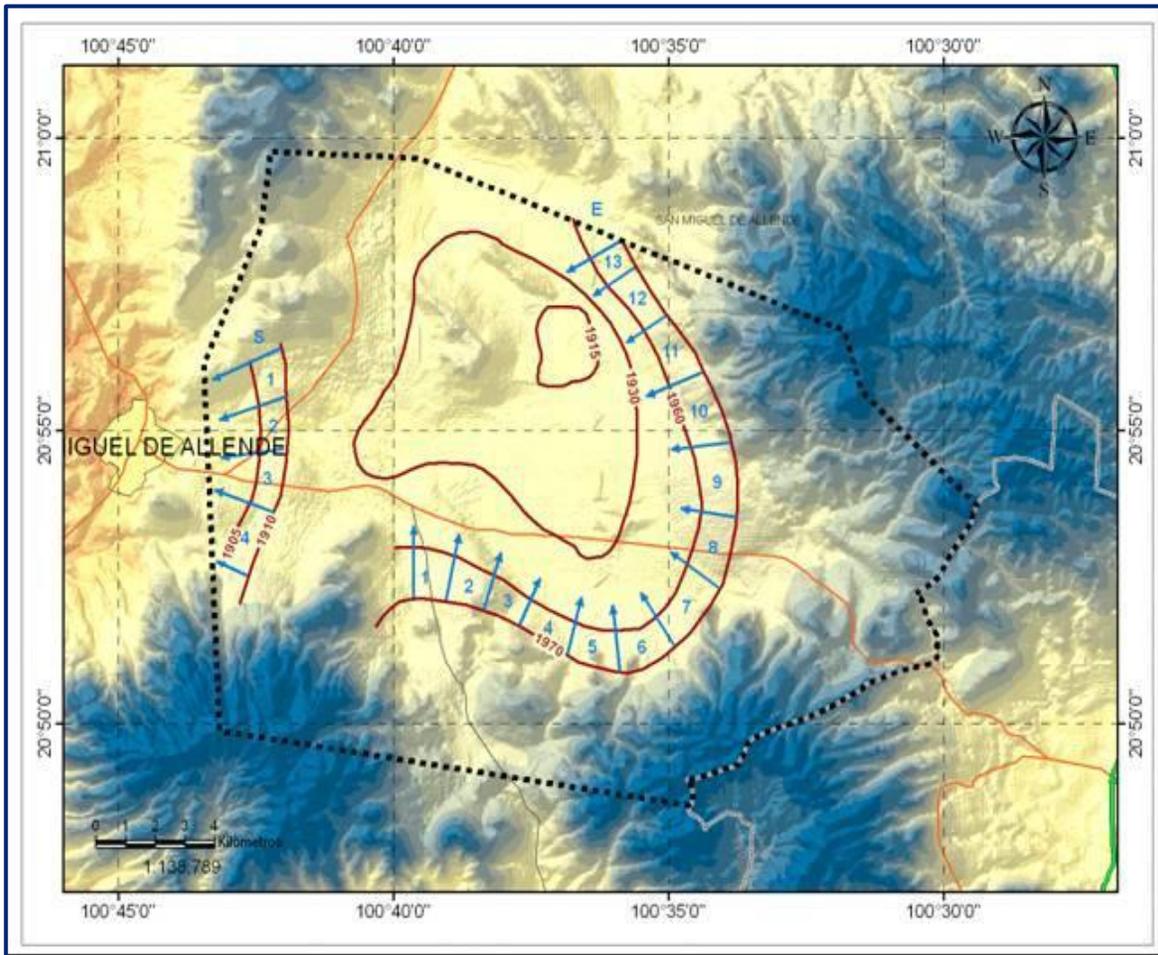


Figura 6. Red de flujo subterráneo

La Tabla 3 muestra la estimación de este flujo.

Tabla 3. Cálculo de entradas horizontales por flujo subterráneo

CANAL	L (m)	B (m)	DF h (m)	i	T (m ² /día)	GA STO(m ³ /día)	GASTO (hm ³ /año)
1	1600	1200	10	0.0063	400	3024	1.1
2	1100	1100	10	0.0091	200	2002	0.8
3	1000	1350	10	0.0100	400	5400	2.0
4	900	1300	10	0.0111	400	5772	2.1
5	1000	1500	10	0.0100	400	6000	2.2
6	1100	2000	10	0.0091	400	7280	2.7
7	1100	2500	10	0.0091	400	9100	3.3
8	1100	1900	10	0.0091	200	3458	1.3
9	1000	2100	10	0.0100	200	4200	1.5
10	1100	2000	10	0.0091	200	3640	1.3
11	1000	2100	10	0.0100	200	4200	1.5
12	1000	1700	10	0.0100	200	3400	1.2
13	1000	1100	10	0.0100	200	2200	0.8
Total							21.8

Como resultado se obtuvo un valor de **21.8 hm³/año** que representa las entradas por flujo horizontal a la zona de balance de aguas subterráneas.

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

Aun en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen de agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática.

Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego. Para este caso, se aplican a la agricultura de riego aproximadamente 21.2 hm³/año y considerando que el 10% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, los que representa 2.1 hm³/año de recarga por retornos de riego.

El volumen destinado para el uso público-urbano es de 0.8 hm³/año, considerando que un 30% del volumen total utilizado retorna al acuífero por fugas en las redes de abastecimiento, la recarga resulta de 0.2 hm³/año. El total de la recarga inducida es de **2.3 hm³/año**.

7.2 Salidas

Se trata de los volúmenes de agua, ya sean naturales o extraídos, que pierde el sistema acuífero.

Para el Acuífero de San Miguel Allende las descargas están representadas por el bombeo (B); descarga por evaporación (ETR); salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) y por flujo base a través de ríos o manantiales (Qb).

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

El volumen de extracción por bombeo es de **22.1 hm³/año**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Bajo el mismo criterio que para las entradas por flujo subterráneo horizontal se tiene la Tabla 5, que presenta el flujo de salida estimado, de **6.5 hm³/año**.

Tabla 5. Salidas horizontales por flujo subterráneo

CANAL	L (m)	B (m)	DIF h (m)	GRADIENTE	T (m ² /día)	GASTO(m ³ /día)	GASTO (hm ³ /año)
1	900	2000	5	0.0056	500	5556	2.1
2	900	1800	5	0.0056	500	5000	1.8
3	1000	1500	5	0.0050	500	3750	1.4
4	1100	1500	5	0.0045	500	3409	1.2
						Total	6.5

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

La evolución piezométrica relativa al lapso diciembre de 2000–diciembre de 2007 muestra que el nivel permanece sin variaciones significativas no obstante de haber abarcado un periodo de tiempo de 7 años, por tanto, la resultante neta de la evolución es nula a nivel de la zona del acuífero; así:

$$\Delta V(s) = AB * hm * Sy \approx 0$$

Solución a la ecuación de balance

Una vez calculados los valores de las componentes de la ecuación de balance, el único parámetro de los que intervienen y que falta por determinar es la infiltración por lluvia (R_v), por lo que despejando este término de la ecuación definida se tiene:

$$\begin{aligned} R_v &= (B + S_h) - (E_h + R_i) \pm \Delta V(S) \\ R_v &= (22.1+6.5) - (21.8 + 2.3) \pm 0 \\ R_v &= 4.5 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la recarga total es igual a:

$$R = R_v + E_h + R_i = 4.5 + 21.8 + 2.3 = 28.6 \text{ hm}^3/\text{año}.$$

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:

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

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, corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso particular, su valor es de **28.6 hm³/año**, de los cuales 26.3 hm³ son recarga natural y los 2.3 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se cuantifica mediante medición de los volúmenes de agua procedentes de manantiales o de caudal base de los ríos alimentados por el acuífero, que son aprovechados y concesionados como agua superficial, así como las salidas subterráneas que deben ser sostenidas para no afectar a los acuíferos adyacentes.

En la zona se identificó una conexión subterránea con el acuífero adyacente Cuenca Alta del Río Laja, es decir, existe una salida subterránea en la porción Suroccidental del acuífero. La magnitud de la salida subterránea se estimó en **6.5 hm³/año**

8.3 Volumen concesionado 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 **34,480,155m³ 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 28.6 - 6.5 - 34.480155 \\ \text{DMA} &= -12.380155 - \text{hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **12,380,155 m³ anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se refiere a la porción del acuífero granular en la que existen aprovechamientos del agua subterránea e información hidrogeológica para su evaluación. No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor, sin embargo, no es posible en este momento incluir en el balance los volúmenes de agua que circulan a mayores profundidades que las que actualmente se encuentran en explotación, ni en las rocas fracturadas que subyacen a los depósitos granulares. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior, para su actualización.

9. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Actualización del estudio geohidrológico de la cuenca Alta del Río La Laja, Guanajuato. Realizado por la Compañía Geohidrológica Mexicana.