



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

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO CUENCA ALTA DEL RÍO LAJA (1108),  
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 .....	5
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>6</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Provincia Fisiográfica.....	11
3.2 Clima .....	11
3.3 Evapotranspiración .....	12
3.4 Hidrografía .....	14
3.5 Geomorfología .....	16
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
4.1 Estratigrafía .....	17
<b>5. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	26
5.2. Parámetros hidráulicos .....	28
5.3. Piezometría.....	29
5.4 Comportamiento Hidráulico .....	30
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	30
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	31
5.4.3 Evolución del nivel estático .....	31
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	32
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....</b>	<b>34</b>
7.1 Entradas.....	34
7.2 Salidas .....	35
7.3 Cambio de almacenamiento.....	35
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>36</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	36
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	37
8.3 Volumen de extracción anual de aguas subterráneas (VEAS).....	37
8.4 Disponibilidad de agua subterránea (DMA).....	37

## **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 Cuenca Alta del Río Laja, definido con la clave 1108 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el centro del país, en la porción nor-central del estado de Guanajuato, comprende una superficie de 3,000 km<sup>2</sup> (Figura 1).

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

Comprende parcialmente o totalmente a los municipios de San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo, San Felipe y San Diego de la Unión.



Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

<b>ACUIFERO 1108 CUENCA ALTA DEL RIO LAJA</b>						
<b>VERTICE</b>	<b>LONGITUD OESTE</b>			<b>LATITUD NORTE</b>		
	<b>GRADOS</b>	<b>MINUTOS</b>	<b>SEGUNDOS</b>	<b>GRADOS</b>	<b>MINUTOS</b>	<b>SEGUNDOS</b>
1	100	45	27.0	21	20	26.9
2	100	41	46.8	21	8	43.8
3	100	42	13.6	20	59	45.9
4	100	42	24.4	20	58	28.1
5	100	43	26.3	20	56	8.2
6	100	43	9.2	20	49	52.4
7	100	44	29.8	20	49	23.4
8	100	47	19.0	20	50	57.5
9	100	51	33.4	20	50	24.4
10	100	53	40.6	20	52	21.3
11	100	54	55.2	20	50	47.9
12	101	0	18.1	20	49	49.3
13	101	2	9.4	20	48	1.3
14	101	2	37.2	20	47	34.3
15	101	5	38.0	20	52	18.1
16	101	4	26.4	20	52	49.1
17	101	6	45.4	20	58	12.8
18	101	8	15.4	20	59	27.6
19	101	12	13.4	21	4	11.2
20	101	13	21.9	21	8	8.2
21	101	18	19.2	21	9	38.5
22	101	20	48.0	21	12	41.6
23	101	23	41.6	21	11	38.0
24	101	25	26.2	21	8	31.0
25	101	27	4.9	21	10	7.6
26	101	30	54.8	21	14	49.8
27	101	28	53.7	21	17	32.9
28	101	23	34.2	21	18	45.8
29	101	22	55.8	21	27	38.9
30	101	12	8.4	21	32	28.4
31	101	1	49.1	21	25	15.7
32	100	58	48.7	21	25	48.0
33	100	54	56.2	21	32	38.5
34	100	52	39.1	21	32	26.8
35	100	47	49.4	21	28	29.8
36	100	47	36.8	21	25	23.0
1	100	45	27.0	21	20	26.9

De acuerdo con el conteo definitivo de población y vivienda 1995 (INEGI), las cabeceras municipales cuentan con la siguiente población. Dolores Hidalgo 45,886 habitantes, San Felipe 23,987 habitantes, San Diego de la Unión 5741 habitantes y San Miguel Allende 52,966 habitantes.

## **1.2 Situación Administrativa del Acuífero**

El 23 de Octubre de 1958, fueron vedados parcialmente los municipios de Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión y Allende. Mediante decreto del 24 de Septiembre de 1964 se amplió la veda al resto de los municipios de Allende y San Diego de la Unión.

Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de los Municipios de Ocampo, San Felipe, San Diego de la Unión y San Luis de la Paz, del Estado de Guanajuato; en consecuencia, se establece veda por tiempo indefinido para la explotación de dichos recursos. Fecha de decreto 12 de Mayo de 1976 y fecha de publicación en el Diario Oficial 29 de Julio de 1976.

La zona ha sido motivo de veda para alumbramiento de aguas subterráneas en diferentes ocasiones, pero la última decretada el 14 de Diciembre de 1983, comprende la totalidad de la superficie del estado de Guanajuato para construir nuevos pozos, a menos que se trate de reposiciones por alguna causa justificada.

No existe decreto de reserva o reglamento.

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

La zona se ubica dentro del ámbito del Consejo del Río Lerma-Chapala, el que fue instalado el día 13 de abril de 1989 y con fecha de 1 de Octubre de 1999 quedó integrado el Consejo Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

Las principales Unidades de Riego, corresponden a la Peñuelitas con 1,112 ha y a la Álvaro Obregón con 1,436 ha, servidas con el agua superficial controlada en las presas que llevan el mismo nombre.

En la zona operó el Distrito de Desarrollo Rural, Dolores Hidalgo, que comprendía los municipios de San Diego de la Unión, Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende.

Unidades incorporadas y detectadas

Municipio	No de Unidades		Total	Unidades de Riego
	Incorporadas	Detectadas		
Dolores Hidalgo	198	77	275	Unidades de Riego
San Miguel Allende	180	23	203	"
San Felipe	77	8	85	"
San Diego de la Unión	30	12	42	"

Municipio	No de Pozos		Total	Unidades de Riego
	Incorporados	Detectados		
Dolores Hidalgo	249	99	348	Unidades de Riego
San Miguel Allende	252	25	277	"
San Felipe	211	10	221	"
San Diego de la Unión	41	15	56	"

Los sistemas de agua potable ubicados en las cabeceras municipales de Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Felipe y San Miguel de Allende, son los mayores usuarios de aguas subterráneas.

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En 1981, la Dirección General de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), encomendó a la empresa Geohidrológica Mexicana, S. A., la elaboración del trabajo denominado **“Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Alta del Río La Laja, Gto.”**, con el fin de construir nuevos proyectos de irrigación sustentados con agua del subsuelo y, además, atender numerosas solicitudes de perforación de pozos con la misma intención; asimismo, actualizar el estudio geohidrológico con el fin de alcanzar los objetivos siguientes:

- a) Conocer el grado de explotación de los acuíferos de la cuenca Alta del Río La Laja, Gto.
- b) Determinar la magnitud y procedencia de la recarga del acuífero, prestando especial atención a la aportación de las corrientes superficiales.
- c) Determinar el volumen de extracción que se puede aprovechar permanentemente sin inducir efectos perjudiciales.
- d) Localizar áreas favorables para el incremento de la explotación.
- e) Conocer en forma aproximada la relación agua superficial-agua subterránea.

Para alcanzar tales objetivos, fue necesario programar las siguientes actividades:

- Inventario de captaciones de agua subterránea, donde se censaron 1,469 aprovechamientos subterráneos: 1,304 pozos, 129 norias, 21 manantiales y 15 galerías filtrantes; de los cuales, se encuentran inactivos 141 pozos, 9 norias y 3 manantiales.
- 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 cuenca de estudio, respectivamente, 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.

Piezometría. - 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.

Se concluye lo siguiente:

- La precipitación, temperatura y evaporación potencial medias anuales, resultaron de 498.2 mm, 16.7° C y 1,877 mm, respectivamente.
- Los principales cultivos de la zona de estudio son: Maíz, trigo, sorgo, cebada, frijol y alfalfa.
- De los 1,469 aprovechamientos se extraen 412 millones de metros cúbicos de agua del subsuelo de la zona, destinándose 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 moderada y respetable magnitud.

- 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 realizado en 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.
- Las recomendaciones que se presentaron fueron las siguientes:
- Realizar un estudio isotópico que ayude a profundizar en el conocimiento de la hidrología subterránea de la zona de estudio y a esclarecer la interrelación que pudiera existir con cuencas hidrogeológicas adyacentes.
- Iniciar la elaboración de un modelo matemático de detalle que permita estudiar la respuesta piezométrica del acuífero de la cuenca alta del río La Laja bajo diferentes tiempos y alternativas de bombeo.
- Realizar pruebas de bombeo con pozo de observación, con el fin de precisar la distribución espacial del coeficiente de almacenamiento del acuífero.

**Actualización del Estudio Geohidrológico Cuenca del Río Laja, Gto. Realizado por Geohidrológica Mexicana en Febrero de 1982.** Actualmente existe una respetable cantidad de aprovechamiento hidráulicos subterráneos: se censaron 1469 obras de las cuales 1304 corresponden a pozos, 129 a norias, 15 galerías filtrantes y 21 a manantiales. Su volumen de extracción es de considerable magnitud; pues explotan del acuífero alrededor de 412 millones de  $\text{m}^3/\text{año}$ , destinándose el 90% a la agricultura y el 10% al abastecimiento de agua potable y abrevadero.

Los pozos poseen en promedio profundidades de 35 a 400 m prevaleciendo las mayores, rendimiento y capacidad específicas de 2 a 100 lps y 0.13 a 82.2 lps/metro, prevaleciendo los de magnitud media y baja. 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. Los caudales de los manantiales son de 0.5 a 20 lps; las galerías filtrantes poseen profundidades de 3 a 12.5 m gastos y gastos específicos de 2.9 a 16 lps y 1.3 a 200 lps/m, respectivamente.

Las corrientes superficiales a través de sus materiales fluviales permeables alimentan a la zona de saturación regional destacándose la del Río La Laja, la cual es el dren principal de la cuenca de estudio.

En la cuenca del Río Alta del Río La Laja afloran rocas sedimentarias e ígneas extrusivas principalmente: de las primeras se tienen calizas, areniscas – lutitas, conglomerados, aluviones y depósitos fluviales; de las segundas, basaltos, andesitas, riolitas y tobas riolíticas. Es de esperar que en el subsuelo también se hallen las citadas rocas, aunque de acuerdo a cortes litológicos predominan las tobas con diferentes tamaños de granos, grado de alteración y cementación, así como conglomerados de composición análoga a las tobas.

Las calizas, areniscas – lutitas, basaltos, andesitas y riolitas, en general funcionan como barreras laterales en los bordes de los valles y/o como estructuras confinantes en las porciones centrales de los mismos. Eventualmente y en forma local, debido a su fracturamiento pueden llegar a producir caudales modestos de agua subterránea y/o actuar como áreas de recarga.

En cambio, las tobas en sus diferentes composiciones, los piroclásticos, conglomerados y el material aluvial, asociados e intercalados, constituyen el principal acuífero en explotación, en la mayor parte de la zona estudiada; dicho acuífero es notablemente heterogéneo, anisótropo, comúnmente de baja porosidad efectiva (coeficiente de almacenaje, variable entre 0.05 y 0.06) y de considerables dimensiones.

No obstante que en forma local pueden existir sistemas de flujo confinados o semiconfinados, regionalmente el acuífero se comporta como libre o semilibre, especialmente si se considera bombeo intensivo, extensivo y permanente, como tal es el caso.

Los materiales fluviales existentes en las proximidades del cauce del Río La Laja deben tener mayor rendimiento específico, ser de dimensiones relativamente reducidas y de buena permeabilidad.

Las áreas exploradas mediante la geofísica de resistividad en general, no manifiestan condiciones geohidrológicas potencialmente atractivas: aparentemente predominan materiales de posibilidades acuíferas erráticas y restringidas. Y actualmente los niveles estáticos están descendiendo paulatinamente.

## **Informe Final del Estudio Geohidrológico de la Cuenca Grande del Río La Laja, Gto.**

Este estudio fue realizado en 1971, bajo el contrato para estudio No. E1-71-35, clave No. AS-95, por la Empresa Hidrotec, S. A., para la Dirección de Aguas Subterráneas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos donde se concluyó y recomendó lo siguiente:

- En términos generales se puede afirmar que la explotación dentro de la cuenca de estudio ha beneficiado a la región, al aumentar la disponibilidad de almacenamiento en los acuíferos. Trayendo como consecuencia un mayor aprovechamiento de los recursos hidráulicos al incrementar la recarga.

- La explotación anual durante el período noviembre de 1970 a noviembre de 1971 fue del orden de  $240 \times 10^6 \text{ m}^3$ , que se extrajeron por medio de 625 pozos, 272 norias, 3 tiros de mina abandonados, 17 manantiales y un tajo.

- El río La Laja constituye el dren principal de los excedentes de agua subterránea y superficial en la región y su flujo base no ha sufrido modificación substancial por el efecto de la extracción por bombeo en la región.

Sin embargo, no es posible determinar hasta qué grado se hayan afectado sus escurrimientos torrenciales.

- Los acuíferos explotados se comportan como parcialmente confinados, con un coeficiente de transmisividad variable entre  $10^{-4}$  y  $4.7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ , cuya variación se debe a las características de heterogeneidad de los materiales de origen volcánico que los constituyen.

- El coeficiente medio de almacenamiento, determinado en las zonas evaluadas, varía entre  $1.8 \times 10^{-2}$  y  $5.8 \times 10^{-2}$ .

- De acuerdo con los balances volumétricos efectuados en las zonas I, II, III, IV y VI, se define para el período de noviembre de 1970 a noviembre de 1971 que la zona III, Laguna Seca, está sobre-explotada, mostrando un déficit de  $14 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

- En la zona II la extracción se equilibró con la recarga neta.

En las zonas I, IV y VI hubo excedentes de  $1.4 \times 10^6$ ,  $9 \times 10^6$  y  $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , respectivamente.

- La distribución de la explotación de agua subterránea en la región ha deformado la red original de flujo provocando la formación de 2 depresiones pizométricas.

- La primera en la zona II. Dr. Mora-San José Iturbide, aislándola de la zona III, Laguna Seca y la segunda en la sección norte de la zona III, reduciendo la alimentación subterránea de la zona VI, río Cuenca Alta del Río la Laja.

- En el caso de que se requiera incrementar la explotación actual de aguas subterráneas, éste incremento podrá ser entre  $56 \times 10^6$  y  $68 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ , de acuerdo con la distribución que se propone en el plano 9-7-1 Hidrotec, S. A.- 1972.

- Con el objeto de poder confirmar la posibilidad de efectuar las explotaciones adicionales propuestas se propuso desarrollar el programa de 13 exploraciones

directas y 3 secciones de geofísica eléctrica que se propone en el plano No. 9-7-1 Hidrotec, S. A.-1972.

- Se recomendó que se continúe el control de las explotaciones de aguas subterráneas, mediante el sistema de tarjetas calendario ya establecido, que, aunque no es tan preciso como la instalación de medidores de volúmenes acumulativos en cada uno de los pozos, sí da valores bastante confiables a un costo posiblemente menor.
- Continuar con observaciones bimestrales de niveles estáticos en los pozos seleccionados, con el objeto de obtener una historia más larga de evoluciones que permita determinar mejor el funcionamiento de los acuíferos.
- Se recomendó que se instalen dos estaciones Hidrométricas nuevas sobre el Río de La Laja, una en la entrada al vaso de la Presa Ignacio Allende y la segunda a la altura de Dolores Hidalgo, para poder definir el flujo base actual, debido a que la estación Begoña ya no lo registra por la existencia de la presa.
- Para poder definir mejor el funcionamiento de la zona IV, San Miguel de Allende, se recomendó que se lleve un control hidrométrico de las descargas de la Presa que se localiza inmediatamente al oriente de la población del mismo nombre.
- Conforme se cuente con un mayor cúmulo de datos históricos de funcionamiento de los acuíferos en la zona, se recomendó que se actualicen y revisen las evaluaciones, para poder llegar a un modelo matemático más preciso, que permita hacer predicciones a corto y largo plazo.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia Fisiográfica**

La zona pertenece a la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central y 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.

#### **3.2 Clima**

En la zona de estudio el clima imperante se clasifica, según los criterios de Koppen y E. García, 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 temperatura media anual es del orden de 17° C, sin que se manifiesten cambios bruscos dentro del área estudiada; los meses más calurosos corresponden a abril, mayo y junio, con temperaturas que oscilan entre 18° y 22°C 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°C.

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 de estudio.

### **3.3 Evapotranspiración**

La región del Río Laja-San Felipe es una región donde predomina la agricultura, y en menor medida, las actividades de ganadería. Se tienen alrededor de 191,051 Ha. para cultivo, tanto de temporal como de riego.

Por lo anterior, la evapotranspiración es un fenómeno de suma importancia dentro del ciclo hidrológico de la zona de estudio.

Para la estimación de la evapotranspiración real, se utilizan por lo general métodos empíricos, dada la carencia de datos diarios de factores climatológicos específicos y considerando los alcances de este trabajo.

Se considera para su cálculo la fórmula empírica de L. Turc, comparando sus resultados con el método de Coutagne, considerando lo expuesto por Custodio y Llamas (1983), que plantean que estos métodos tienden a sobrestimar o subestimar la evapotranspiración, al compararlos con métodos directos. Sin embargo, para poder emplear el método de Penman o el de Blaney-Cridle, se requieren o muy detallados datos climatológicos en el primero; o numerosos datos agrícolas en el segundo, en el cual hay que contar con coeficientes K propios de la región estudiada. L. Turc basa su ecuación empírica, en numerosos datos hidrológicos y permite calcular la evapotranspiración a partir sólo de la temperatura media y la precipitación media.

La fórmula de L. Turc es la siguiente:

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}}$$

Donde:

**Er** es la evapotranspiración real anual en mm;

**P**, es la altura de precipitación anual en mm.

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

Donde T es la temperatura media anual del aire en grados Celsius, expresa el poder evaporante de la atmósfera.

Sustituyendo valores en las ecuaciones de L. Turc tenemos:

$$L = 300 + 25(17.07) + 0.05(17.07)^3 = 975.44$$

$$Er = \frac{556.27}{\sqrt{0.9 + 556.27^2 / 975.44^2}} = 502.5 = \mathbf{502.59}$$

Castany (1971), expresa que la validez de esta fórmula estriba en que se realizaron comparaciones entre valores de mediciones reales y cálculos efectuados con esta fórmula para 254 cuencas, distribuidas en toda la superficie terrestre, dando resultados satisfactorios.

Este autor considera que esta ecuación es aplicable a todos los climas, explicando que los trabajos de L. Rodier y M. Roche en África Occidental, han demostrado su validez para los países tropicales y subtropicales.

En todo caso no deja de ser una fórmula empírica, que dada la carencia de datos permite obtener el orden de magnitud de este fenómeno en un balance hidrológico.

Por otro lado, la fórmula de Coutagne, es la siguiente:

$$E = P - \lambda P^2$$

Donde  $\lambda$  es igual a:

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

Esta fórmula es aplicable para valores comprendidos entre  $1/8\lambda$  y  $1/\lambda$

Sustituyendo los valores en las ecuaciones de Coutagne, tenemos:

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14(17.07)} = 0.31$$

$$E = 556.27 - 0.31(556.27)^2 = \mathbf{459.3}$$

En la tabla III.2 se muestran los valores obtenidos de evapotranspiración empleando las fórmulas empíricas de L. Ture y Coutagne.

Tabla III.2

Método de análisis	Evapotranspiración Real
L. Ture	502.59
Coutagne	459.3
Promedio	480.94

### 3.4 Hidrografía

El área del acuífero pertenece a la Región Hidrológica No. 12, Lerma-, cuenca Río Laja, En el estudio realizado en 1971, se afirma que de la observación de las estaciones Hidrométricas no hay escurrimientos excepto en época de avenidas, quedando totalmente secos sus cauces durante el resto del año, abstracción hecha de la estación La Begoña, sobre el río La Laja, que con un flujo permanente de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta 1968 en que construyó la presa Ignacio Allende, confirmaba ser el dren principal de las aguas subterráneas excedentes de la región. Al paso de los años y debido a la creciente sobreexplotación de los acuíferos regionales, el flujo base ha desaparecido.

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 estudiada, por Comonfort, y con dirección sensiblemente hacia el poniente confluye al río Lerma a la altura de Salamanca. Cruza el área estudiada 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. 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 en estudio. Su capacidad es de 251 hm<sup>3</sup>. La presa Peñuelitas sobre el río de la R se localiza a unos tres kilómetros aguas arriba de la confluencia de este río con el de La Laja, con una superficie drenada de 395 km<sup>2</sup> y una capacidad de 23.8 hm<sup>3</sup> y que riega a unas 1,112 ha, que reciben también agua de Yuriria y por el bombeo de pozos.

La presa Álvaro Obregón sobre el cauce del arroyo Dolores Hidalgo, se localiza a unos 6 km al NE de la población del mismo nombre, con una capacidad de 10.9 hm<sup>3</sup> riega alto, así como 1,436 ha, aunque también reciben agua del bombeo de pozos.

En relación con la disponibilidad actual de aguas superficiales se puede decir que no existe, ya que se utilizan íntegramente en la agricultura.

La Infraestructura hidráulica, dentro de la Cuenca Alta del Río La Laja se localizan la presa Ignacio Allende sobre el Río La Laja, Peñuelitas sobre el Río de la R y Álvaro Obregón sobre el Arroyo Dolores Hidalgo.

### **3.5 Geomorfología**

La ubicación descrita imprime al área rasgos geomorfológicos como las extensas llanuras orientadas sensiblemente NE – SW por el presente, así como una depresión en la porción centro oriental, precisamente donde el río La Laja ha labrado su cauce.

Desde un punto de vista regional las llanuras son de tipo constructivo, ya que su origen es el relleno de fosas tectónicas, principalmente con materiales vulcano clásticos provenientes de secuencias clásticas de ignimbritas y tobas soldadas, así como de sedimentación intracuenca. Las llanuras están limitadas por serranías, macizos montañosos, cerros aislados o lomeríos.

De esta forma, hacia el norte, el límite lo constituyen una serie de lomeríos que constituyen las estribaciones de las sierras El Cubo y Las Nieves, que se extiende con rumbo noreste hasta la ciudad de San Luis Potosí, siendo ambas de constitución ignimbrítica y riolítica, con una edad correspondiente al Paleógeno, con algunos basaltos del Cuaternario que ocasionalmente las cubren.

Al sur, el límite de la llanura es una serie de cerros entre los que destaca el aparato volcánico de constitución basáltico andesítica llamado Cerro El Picacho, con elevaciones de hasta 3 000 msnm; en la porción centro oriental de este lindero se localiza una barranca por donde el río La Laja se integra posteriormente al Bajío, y donde se localiza la presa Ignacio Allende.

Al oriente colinda con el valle de San Luis de la Paz, estando de por medio una serie de lomeríos de poca altura, alineados norte – sur, que son aparatos volcánicos basálticos de edad Cuaternaria; en la porción sur de este lindero se ve una sierra en la que sobresale el cerro Palo Colorado, de constitución ignimbrítica, cubierto en parte por los derrames del Cerro El Picacho.

## **4. GEOLOGÍA**

Las rocas que predominan son depósitos lacustres de edad cenozoica, 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).

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.

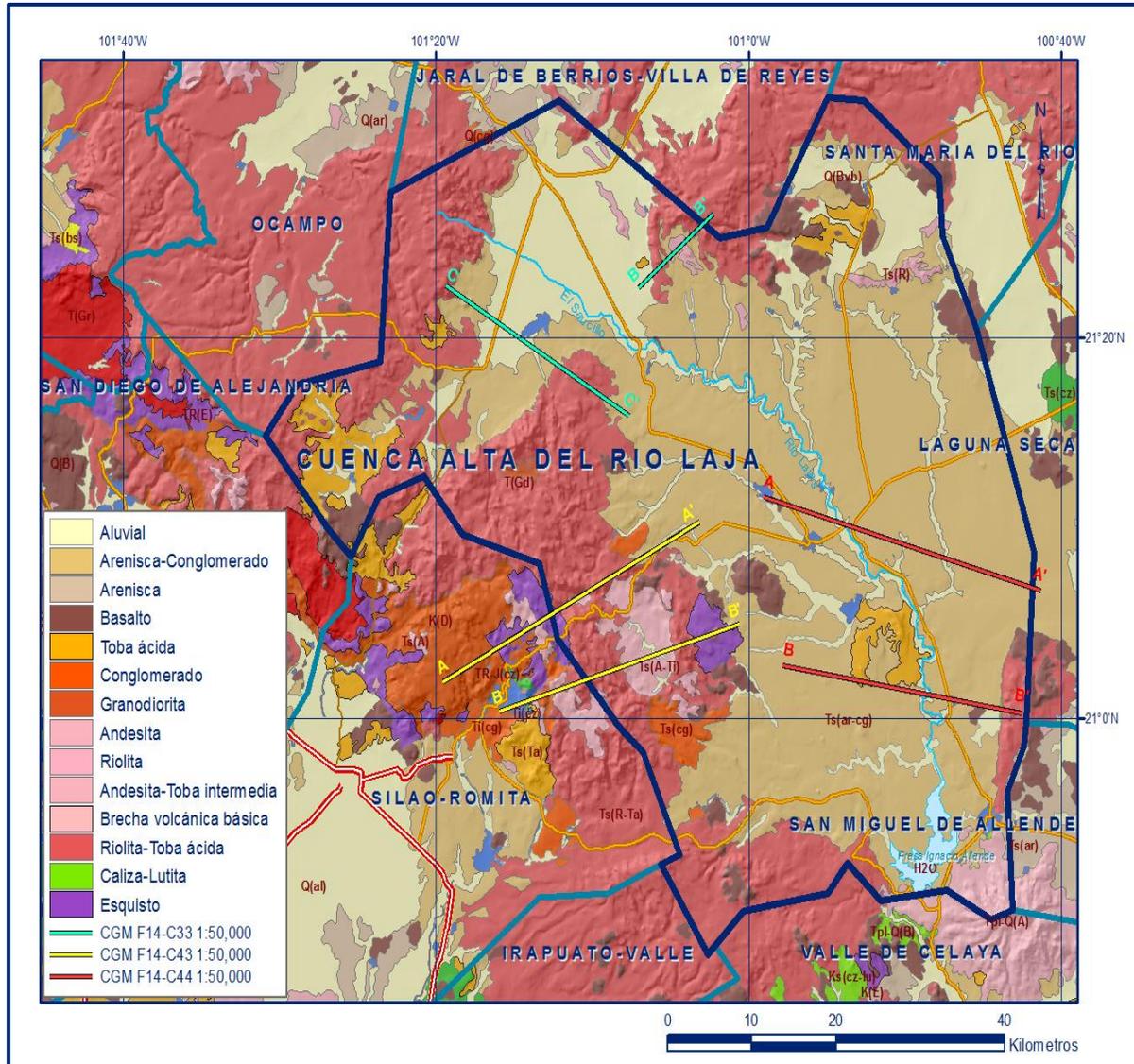


Figura 2. Geología general del acuífero

#### 4.1 Estratigrafía

En el área aflora una secuencia de rocas metamórficas, sedimentarias marinas y continentales y volcánicas extrusivas. Cuyas edades datan del triásico al cuaternario reciente.

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 afloran 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 (K lut – 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, Indidura 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 S. J. 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.

### **Cenozoico**

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 Tigeby 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 localizados, 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; interestratificados 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 sería Oligoceno-Mioceno, de acuerdo a su posición estratigráfica con respecto a las tobas híbridas y arenas fosilíferas del rancho El Ocote.

### **Basaltos y Andesitas (Tgeb)**

Esta unidad está constituida por derrames y flujos de 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 extratovolcanes.

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 Támara, 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 funcionan 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. Observan 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 y 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 flojos de 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 (Qar – cg), 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, teniendo espesores promedio de 120 mm.

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 son 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.

La sedimentación en la cuenca parece ser un fenómeno que tuvo continuidad hasta el Pleistoceno, ya que el vulcanismo Plio-Pleistocénico debió de generar material piroclástico además de lavas.

Las estructuras volcánicas del Pleistoceno se ubican en la porción Suroriental del área, perteneciendo a esta edad el Cerro El Picacho y los pequeños conos de material piroclástico grueso y lavas que afloran por el norte.

Dichos materiales volcánicos cubren a sedimentos Miocénico-Pleistocénicos que a su vez cubren a las tobas riolíticas.

La edad miocénica-Pleistocénica de los sedimentos está dada por macrofauna encontrada en el rancho El Ocote, que se localiza en el límite centro-oriental del área. El volcanismo 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.

Tanto los esquistos como las rocas calizas son cubiertos por andesitas del Paleógeno y/o ignimbritas de edad similar que afloran al sur del área, en zonas topográficamente más bajas.

#### **4.3 Geología del Subsuelo**

Con base en cortes litológicos, registros eléctricos y 51 sondeos eléctricos de resistividad, fue posible ampliar el conocimiento del marco geológico subterráneo, especialmente en aquellas áreas hidrogeológicamente atractivas que no fueron cubiertas y/o no quedaron suficientemente conocidas en estudios anteriores. En la subcuenca del Río La Laja se obtuvieron tres perfiles geofísicos por medio de 10 S.E.V., (Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca del Río La Laja, Gto.).

#### **Sección I-I'.**

La Sección I-I', queda al SE del Pueblo de Las Palmitas, tiene orientación NW-SE y está formada por 3 S.E.V.

Como primer paquete geoeléctrico se detectó en la superficie al suelo residual ( $U_2$ ) de unos cuantos centímetros de espesor y resistividades que oscilan de 11 a 51 ohm-m; infrayaciéndolo se encuentra el relleno aluvial ( $U_2$ ), con resistividades de 17 y 18 ohm-m y espesor medio de 12 m; tiende a disminuir hacia el SE de la sección. Es de esperar que su permeabilidad sea regular.

Subyaciendo a esta capa probablemente se hallan aglomerados y tobas arcillosas ( $U_3$ ), con espesor promedio de 120 m. y resistividades que oscilan en el orden de 9 a 14 ohm-m.

La unidad 3, se asocia con rocas de baja permeabilidad y posiblemente esté saturada en su parte inferior.

El basamento resistivo, detectado a la profundidad de unos 180 y 75 m y con resistividades de 80 y 100 ohm-m, probablemente se trata de piroclásticos y tobas arenosas ( $U_8$ ), saturados; su permeabilidad debe ser variable, generalmente entre media y baja.

### **Sección II-II'**

Esta sección se ubica al NW del Poblado de Dolores Hidalgo, posee orientación NW-SE y está construida por 3 S.E.V.

Se detectaron cuatro capas geoelectricas; la primera ( $U_1$ ) se trata de suelo residual que presenta resistividades de 57 a 230 ohm-m, la segunda presenta resistividades de 20 y 26 ohm-m y en general se correlaciona con material granular heterométrico ( $U_2$ ) de buena permeabilidad. La tercera que subyace a la anterior se encuentra a la profundidad promedio de 15 m, se asocia con aglomerados y tobas arcillosas ( $U_3$ ) y presenta resistividades de 8 y 17 ohm-m; posiblemente estén saturadas en su parte inferior estos materiales, y sean de baja permeabilidad. La cuarta capa geoelectrica, probablemente se trata de piroclásticos y tobas arenosas ( $U_8$ ) acuíferos de regular y reducida permeabilidad con resistividades que van de 41 a 70 ohm-m; se le observa a la profundidad media aproximada de 90 m.

### **Sección III-III'**

Está al SE del Poblado de Dolores Hidalgo, tiene 3 km de longitud y se forma por 4 S.E.V. Como primera capa subsuperficial de pocos centímetros de espesor se observa al suelo residual referido ( $U_1$ ), cuyas resistividades oscilan entre 15 a 200 ohm-m; subyaciendo a dicho suelo se encuentra el relleno aluvial ( $U_2$ ) cuya resistividad varía de 27 a 220 ohm-m; su espesor promedio es de 7 m. Y posee variable granulometría, grado de compactación, cementación y permeabilidad.

Bajo la capa  $U_2$  se hallan aglomerados y tobas arcillosas ( $U_3$ ), cuya resistividad oscila entre 8 y 25 ohm-m; posiblemente estén saturados, su permeabilidad debe ser baja y tienen unos 140 m de espesor medio.

El estrato eléctrico que subyace a la capa U<sub>3</sub> se correlaciona con toba riolítica (U<sub>9</sub>), con resistividades de 120 y 500 ohm-m, posiblemente impermeable o de permeabilidad secundaria errática y reducida.

De acuerdo con la información obtenida acerca de cortes litológicos y registros eléctricos, los acuíferos de la región están constituidos por materiales de origen volcánico tobáceo con intercalaciones de cuerpos de arenas y gravas. El espesor de los acuíferos explorados actualmente es de 400 m, descansando aparentemente sobre materiales tobáceos menos permeables o bien sobre rocas riolíticas o andesíticas de baja permeabilidad.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

El acuífero está formado principalmente por secuencias sedimentarias aluviales del Paleógeno, que forman un acuífero granular. Regionalmente el acuífero se comporta como **libre o semi libre**.

Con base en la interpretación fotogeológica de los pares estereoscópicos de fotografías aéreas que cubren la zona de estudio, se define la región como eminentemente volcánica constituida por sierras de riolitas, andesíticas y basaltos que descansan sobre un relieve antiguo de rocas sedimentarias del cretácico que afloran únicamente en la Sierra de Pozos y en la sierra que separa el valle de San Miguel Allende del de Dr. Mora – San José Iturbide. El relieve de rocas volcánicas formaba una cuenca cerrada. Posteriormente, la acción erosiva del río de La Laja talló una salida al sur de la cuenca, desarrollando su sistema de drenaje a través de los materiales de diferentes permeabilidades que rellenaban la antigua cuenca cerrada. En las zonas, la erosión todavía no ha avanzado lo suficiente para conseguir una conexión de drenaje superficial con el río de La Laja.

En general, las formaciones volcánicas de riolitas, andesitas y basaltos, son de características impermeables por lo tanto funcionan como fronteras al flujo de aguas subterráneas. Las tobas constituyen el principal acuífero de la región, son de permeabilidad variable de acuerdo con su contenido de arenas volcánicas y arcillas. Los conglomerados observados en la parte occidental de la zona pueden ser localmente permeables; sin embargo, se encuentran arriba del nivel general de saturación, por lo que no tienen importancia como acuíferos.

Las formaciones sedimentarias, constituidas fundamentalmente por calizas, lutitas y areniscas sumamente plegadas y mineralizadas, tienen características de baja permeabilidad, por lo cual se consideran de poca importancia como acuíferos.

En las partes cercanas al cauce del río de La Laja en ambos márgenes, se observan materiales sueltos de relleno aluvial permeable que funcionan como acuíferos marginales de dicho río.

En el resto de la parte plana de la zona de estudio los materiales de aluvión o suelos residuales recientes son más bien el producto de la intemperización residual de las tobas que predominan en la región, constituyendo capas muy delgadas sin importancia como formaciones acuíferas, por encontrarse arriba del nivel de saturación.

La característica tectónica de mayor importancia la constituye la falla de San Miguel de Allende que forma un escalón topográfico de unos 100 m separando la zona IV de San Miguel de Allende del resto de la cuenca del Río de La Laja.

La recarga a los acuíferos tiene lugar probablemente en las zonas de fronteras y en forma vertical a través de las diferentes capas de toba de permeabilidad variable.

Las condiciones de frontera del río Laja – San Felipe son: En el este son arbitrarias por estar en colindancia con el acuífero de la Laguna Seca, del que recibe recarga hacia el cono de abatimiento. En el sentido sur se tiene la Sierra de Guanajuato y de Codornices y al sureste con la Presa Ignacio Allende, cuyo carácter hidrológico se desconoce. Al norte, se encuentra limitado por mesetas basálticas permeables en la región de San Diego de la Unión, mientras que en la zona de San Felipe colinda con el parteaguas continental.

**Unidades Impermeables.** - Como rocas prácticamente impermeables se consideran a las de las formaciones siguientes: esquistos (TR-E), lutitas y areniscas (Hs lut-ar) y riolitas (Tr): las que funcionan como barreras y basamento del acuífero del área.

**Unidades Semipermeables.** - En esta unidad se agruparon a las rocas de la formación de ignimbritas (Tigea) y al igual que las rocas de las anteriores unidades, define la geometría de los sistemas acuíferos al conformar conjuntamente con aquellas los límites de estos.

Así mismo, constituyen una de las principales zonas de recarga al transmitir hacia los acuíferos parte de los volúmenes de agua precipitados sobre ellas, principalmente por los sistemas de fracturas.

**Unidades Permeables.** - Se agrupan las rocas de las formaciones Calizas (Kcza), Basaltos y Andesitas (Tlged), Tobas híbridas y Arenas (Tbr) Basaltos (Qb), Arenas, - conglomeráticas y Conglomerados (Qar-cg, Qcg) y Depósitos Aluviales y Residuales (Qal, Qre). Los grados de permeabilidad son altos en las calizas, en algunas rocas de los basaltos y las andesitas, en los basaltos y en las arenas conglomeráticas (Kcza, Tigeb, Qb, y Qar-Cg, Qg, respectivamente). En las tobas híbridas, basaltos y arenas conglomeráticas se aloja el acuífero principal; las restantes rocas participan localmente del mismo y todas conforman zonas de recarga.

## **5.2. Parámetros hidráulicos**

A través de pruebas de bombeo al acuífero pueden determinarse los coeficientes de transmisividad y almacenamiento, entre otros, mismos que representan las características hidráulicas de mayor utilidad en el estudio cuantitativo del agua subterránea o de evaluación de acuíferos. El primero indica cuánta agua se mueve a través de la o las formaciones productoras y de su magnitud depende directamente el rendimiento de las captaciones, mientras que el segundo indica cuánta agua puede ser obtenida por bombeo o drenaje.

Se efectuaron 20 pruebas de bombeo en captaciones convenientemente distribuidas en la zona de estudio y representativas de los acuíferos en estudio; las pruebas cubrieron tanto la etapa de abatimiento como la de recuperación. La duración de la primera varió entre 2 y 10 horas y la segunda entre 1 y 15.5 hr. Las duraciones más cortas se debieron a la reducida disponibilidad de los equipos de bombeo, por otra parte, las pruebas no se llevaron a tiempos largos de duración porque no contaron con pozo (s) de observación los de bombeo.

Para la elección de los sitios de las pruebas, además, se tomó en cuenta la ubicación y confiabilidad de las efectuadas en 1972; la interpretación y resultados de la mayoría de éstas se consideraron razonablemente confiables, reinterpretándose y/o desechándose solamente unas cuantas, debido a su comportamiento piezométrico sumamente dudoso.

En la interpretación de las pruebas se utilizaron los métodos de Jacob y Papadopolos-Cooper.

En el río de La Laja el coeficiente de transmisividad varía de  $10 \times 10^{-3}$  a  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Las mayores transmisividades están detectadas en una zona local, en los alrededores de la Ciudad de Dolores Hidalgo, y en las cercanías de las márgenes del Río La Laja, entre las rancherías San José y Rancho Nuevo, así como en las inmediaciones de los pozos 129 y 135, porción Centro-Occidental de la subcuenca referida. En su parte central, la transmisividad media representativa es del orden de  $3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; en las cercanías del cauce del Río La Laja, en la porción Noroeste, es de  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Y en su límite Sur, en los alrededores de la Presa Ignacio Allende el mencionado coeficiente varía de 1 a  $9 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, siendo el valor medio representativo de  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

En general la transmisividad se asocia con materiales de baja y regular permeabilidad; ésta, así mismo se refiere fundamentalmente al espesor captado por la longitud del cedazo, la cual es notoriamente variable dada las heterogéneas características geométricas y litológicas del acuífero: alternancia de rocas volcánicas, piroclásticos y algunos casos también rellenos aluviales y conglomerados, con distribución espacial (horizontal y vertical) compleja.

Los caudales específicos en la cuenca general de estudio, (Actualización del Estudio Geohidrológico de la Cuenca del Río La Laja, Gto.) Varían entre 0.5 y 10 lps/m, en forma análoga a la transmisividad; ambos parámetros, son compatibles de acuerdo con la expresión que los liga y, consiguientemente, confiables. Dicha expresión es:

$$Q_e = T$$

(el caudal específico es aproximadamente proporcional a la transmisividad)

### **5.3. Piezometría**

Fue a partir del año de 1971, cuando se efectuó el estudio geohidrológico preliminar de la cuenca que nos ocupa, que empezaron a observarse más o menos en forma sistemática los niveles estáticos de la red de pozos piloto de aquel entonces, habiéndose obtenido las correspondientes a los meses de Agosto de 1971 a Diciembre de 1972; posteriormente, la Residencia Estatal de Geohidrología continuó con recorridos piezométricos relativos a unos cuantos meses, a veces solo a uno, de los años 1974, 1976, 1980 y 1981.

Finalmente, esta Empresa hizo observaciones (recorridos) en la nueva red de pozos piloto, en diciembre de 1981 y junio de 1982, como parte del programa de trabajo de la actualización del estudio referido. (Act.del Est. Geoh. Cuenca del Río Laja).

En Julio de 1976 y noviembre del mismo año, en abril de 1977 y octubre del mismo año, en agosto de 1978, en junio de 1980 y junio de 1981, septiembre de 1983, agosto de 1984 y marzo de 1986. Historia Piezométrica del Acuífero del Río Laja con que cuenta la Comisión Nacional del Agua. El último recorrido piezométrico fue en el mes de septiembre de 1997 por Cirrus S.A. de C.V.. Se efectuaron las mediciones piezométricas en los pozos de monitoreo de la Nueva Red Diseñada.

## **5.4 Comportamiento Hidráulico**

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

En el estudio de 1971, con referencia a la subcuenca San Diego de la Unión, se asienta que el espesor medio de los acuíferos es de apenas unos 30 m, habiéndose encontrado una formación riolítica subyacente. La explotación se lleva a cabo por medio de norias entre los poblados Santa Cecilia y la Presita; sin embargo, hacia el oriente de esta última población, los pozos con profundidades de 150 m no habían cortado esos derrames riolíticos.

La única configuración piezométrica de dicho estudio corresponde a profundidades del nivel estático, que en la subcuenca San Diego de la Unión, muestra un escalón entre La Presita y Providencia, pues las profundidades son de unos 10 m en los alrededores de la primera, en tanto que en la segunda se manifiestan entre 80 y 100 m de profundidad.

Para la subcuenca del río La Laja, del cual se dice es el dren de todos los flujos de aguas subterráneas, la configuración de las profundidades del nivel estático se muestra con afectaciones debidas a la topografía, básicamente por la presencia de lomeríos localizados en ambas márgenes del río. La curva de 10 m se encuentra muy cerca del cauce en ambas márgenes, desde la población Río Laja hasta la presa Ignacio Allende. Dentro de esta curva de 10 m se registraron valores mínimos, hasta de menos de 50 cm abajo del terreno; aguas arriba del poblado Río Laja las profundidades aumentan hasta unos 40 m.

Para diciembre de 1981, una configuración similar manifiesta las mayores profundidades al nivel estático entre 90 y 130 m en el extremo norponiente; en la porción norcentral las curvas de isovalores de la profundidad varían entre 90 y 100 m, aunque se observa un valor puntual a 120 m; hacia el sur de esta zona se aprecian en ambas márgenes del río La Laja, curvas comprendidas entre valores de 10 y 40 m de profundidad.

Para diciembre de 1992, las menores profundidades del nivel estático se observan en los alrededores del poblado San Diego de la Unión, entre 5 y 20 m, considerándose que corresponden a acuíferos colgados; en las cercanías del cauce del río La Laja, las profundidades a los niveles del agua en los pozos se definen entre 10 y 30 m, valores que van haciéndose mayores hacia las partes topográficamente más altas, alcanzando los 120 m en los extremos norte y occidental. (Ariel Consultores, S. A.).

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

Se cuenta con dos configuraciones de este tipo, una para 1981 y otra para 1992, ambas para el mes de diciembre.

A grandes rasgos, la red de flujo indica una convergencia radial del agua subterránea hacia el centro del valle, proveniente de las zonas de recarga establecidas en la periferia del valle.

Para 1992 las zonas de recarga se conservan en la periferia del valle, aunque en la porción occidental el cono de abatimientos generalizado se traslapa y enmascara los límites de dicha zona de recarga (Ariel Consultores, S. A.). También queda esbozado un parteaguas hidrodinámico mediante las curvas 1,880 msnm, en la zona oriental, indicando que han cesado las aportaciones subterráneas provenientes de la zona Laguna Seca, más específicamente de San Luis de la Paz, debido a una sobreexplotación mayor de los acuíferos locales que de hecho han invertido el flujo subterráneo que originalmente tenía lugar hacia la Cuenca Alta del Río la Laja.

En esta subcuenca La Laja, el flujo subterráneo es sensiblemente NNW a SSE, siguiendo marcadamente el cauce del río La Laja, dren superficial y subterráneo regional, hasta la presa Ignacio Allende.

#### **5.4.3 Evolución del nivel estático**

Debido a que no se pudieron correlacionar con los pozos medidos en 1971 las observaciones de años subsiguientes, se utilizaron los planos de configuración de elevaciones del nivel estático para formar definir curvas de igual evolución entre 1971 y 1981. (Ariel Consultores, S. A.).

Se aprecian abatimientos máximos de hasta 60 m en este lapso en el centro del valle, aunque también una pequeña extensión con recuperaciones de 10 m en la porción centro occidental del área configurada.

La siguiente evolución en el período 1981 a 1992 (Ariel Consultores, S. A.), prácticamente en toda el área cubierta por la configuración las evoluciones son negativas, esto es, se registraron abatimientos de los niveles, excepto en una pequeña zona localizada en la parte nor-central, donde se advierte una recuperación de 10 m. Los abatimientos son del orden de 60 m al NE de Dolores Hidalgo y disminuyen hacia San Miguel de Allende hasta 30 m de abatimiento. Al oriente de San Diego de la Unión dichos abatimientos son más moderados, del orden de 10 m.

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

Independientemente de la evaluación de los valores de contenidos de STD, así como sílicos y resistividades, se trató de interpretar la relación de cationes que pudiera dar alguna idea sobre el tipo de aguas existentes en la región. Para tal objeto se analizaron las relaciones de Na/Mg y Na/Ca en miliequivalentes, considerando que pudieran dar algún indicio sobre predominancia de flujo de agua en rocas ígneas ácidas, o bien, básicas.

Los valores más altos de relación de Na/Mg deberían ser representativos de rocas ácidas de tipo riolítico, mientras que los valores menores reflejan posiblemente rocas más básicas del tipo de basalto o andesita, o bien en el caso especial de esta zona, calizas. Los valores de la relación Na/Mg dan un indicio más claro acerca de la procedencia del agua subterránea. Sin embargo, sus valores presentan oscilaciones muy fuertes, por lo que no se configuraron, sino que sólo se anotaron los valores para cada pozo muestreado. En este plano se observa que los valores de la relación Na/Mg son bajos en la subcuenca de San Luis de la Paz, lo cual concuerda con la geología regional que se conoce, donde predominan por un lado hacia el norte las rocas andesíticas y basálticas y hacia al sur las rocas calcáreas calizas y lutitas. En el resto de la cuenca, los valores de la relación Na/Mg aumentan considerablemente, con algunas excepciones muy locales, observándose valores medios en la subcuenca de Dr. Mora – San José Iturbide mayores de 2 y hasta máximos de 40, siendo el valor máximo el correspondiente al pozo 529, junto a la población de Dr. Mora, que seguramente quedó perforado en rocas riolíticas, mientras que los demás pozos deben haber quedado principalmente en rellenos de tobas provenientes de rocas ácidas de tipo riolítico.

Es notorio que en la zona del cono de depresión piezométrica, haya un aumento de la proporción de Na/Mg, que pudiera deberse a un intercambio de base, dando lugar a un incremento en la proporción de Na, aunque por otro lado se observa una ligera disminución del contenido de STD.

En el resto de la zona de estudio, es decir, la cuenca de Laguna Seca y hacia el río de La Laja, se observan generalmente valores que oscilan entre 5 y 10, lo cual confirma aguas de una constitución relativamente uniforme. Solamente en la subcuenca de San Miguel de Allende se observan nuevamente valores más bajos, que concuerdan con la presencia de rocas andesíticas que delimitan esta subcuenca hacia Los Rodríguez en el norte.

Con respecto a la calidad del agua subterránea el estudio de 1971 reporta que el agua alumbrada en general es de buena calidad, basándose en los contenidos de sólidos totales disueltos, aunque se apreciaban algunos valores altos, sobre todo en norias. En la zona de Dolores Hidalgo aumentaban las concentraciones a 300 y 400 ppm, de Poniente a Oriente, aunque en la zona predominaban los valores de 200 y 300 ppm. En los estudios subsiguientes no se reportaron cambios significativos en cuanto a la calidad del agua subterránea, aunque esta opinión pudiera ser únicamente para el acuífero principal ya que el somero debe ser más susceptible a una contaminación debido a su posición

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

Los trabajos efectuados en el estudio de 1971 cubrieron una extensión tan grande, que se dividió en siete subcuencas geohidrológicas, de las cuales cuando menos buena parte de las denominadas San Diego de la Unión y San Felipe o Río La Laja, quedan integradas en el presente trabajo.

Del censo de aprovechamientos de aguas subterráneas que fue levantado en esa fecha arrojó los siguientes resultados: 210 pozos profundos, 71 norias, 17 manantiales y 7 galerías filtrantes. Del inventario de aprovechamientos de aguas subterráneas levantado en 1981, para las dos subcuencas antedichas se obtuvieron los resultados que se consignan en la tabla IV-1.

En consecuencia, entre 1971 y 1981 el número de aprovechamientos de agua subterránea aumentó en 186. Las extracciones se estimaron en unos 145 hm<sup>3</sup> anuales, correspondiendo 137.5 a la zona del río La Laja y unos 7.5 hm<sup>3</sup> a San Diego de la Unión.

En 1992 el censo incluye 506 aprovechamientos de todo tipo, entre los cuales 440 corresponden a pozos profundos, 53 a norias, 10 manantiales y 3 galerías filtrantes, según se reporta en la tabla A-1 del apéndice "A" de este informe.

Las cifras anteriores indican un nuevo incremento de 15 aprovechamientos, aunque se advierte una disminución del número de norias, y aparecen galerías filtrantes que en 1981 no se habían censado.

Para esta fecha las extracciones estimadas fueron del orden de 142 hm<sup>3</sup> anuales, de acuerdo con la tabla A-1 del apéndice "A", y que corresponden a valores consignados en el estudio de 1991.

Es conveniente aclarar que en este estudio no se realizó el levantamiento del censo de aprovechamientos, sólo fue complementado en forma parcial, por lo que no sería de extrañar que hubiera un número mayor de aprovechamientos y de extracciones, más aún para la fecha correspondiente a este informe.

De acuerdo con los informes del Distrito de Desarrollo Rural que comprende los municipios de San Diego de la Unión, Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende, se reportan 242 aprovechamientos más que los 508 que se consideran en la zona del río La Laja. Si se conserva esta misma proporción en las extracciones, el bombeo será de 210 hm<sup>3</sup> anuales, que deberían de corresponder sensiblemente con las estadísticas proporcionadas por el Distrito de Desarrollo Rural.

El último recorrido que se hizo fue en mayo de 1999, se realizó una búsqueda exhaustiva obteniendo un total de 964 aprovechamiento de los cuales 781 son pozos profundos, 142 son norias excavadas, 18 manantiales, 8 galerías filtrantes y 15 son bordos o presas.

De los cuales 536 son pozos para uso agrícola, 123 para agua potable, 168 para uso doméstico y 1 para lavado de zanahorias, de los 107 pozos restantes 81 no se están utilizando y 26 se desconocen para que se utilizan (CEASG).

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

Ecuación de balance:

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

### **7.1 Entradas**

$$\text{Entradas} = \text{Entradas subterráneas} + \text{Recarga vertical}$$

Habiendo identificado las curvas isopiezas que presentan entradas y salidas del acuífero se calculó el área perimetral de la zona de balance, se tomaron en cuenta los gradientes hidráulicos por zonas y se utilizó el mapa de isotransmisividades para asignar valores a los sectores de perímetro del área de balance, que de acuerdo al comportamiento de las isopiezas, se espera tengan entradas subterráneas.

La fórmula utilizada para calcular las entradas por sectores es la siguiente:

$$q = T (AB) I$$

Donde:

“T” es la transmisividad media a lo largo de la curva isopieza; “AB” es la longitud (en metros) de la isopieza seleccionada; e “I” es el gradiente hidráulico, que se obtiene restando el valor de dos isopiezas vecinas a la AB (La inmediata superior H2 e inferior H1), entre la distancia horizontal entre ellas CD, como se expresa a continuación:

$$I = (H2 - H1) / CD$$

Las transmisividades que se asignan a las entradas y salidas subterráneas, son las que se obtuvieron de las pruebas de bombeo.

De los resultados de estos cálculos se tiene que la mayor parte de los sectores analizados indican entradas al acuífero, por lo que el término de salidas de aguas subterráneas es muy pequeño y es del orden de 1.641 hm<sup>3</sup>/año.

Por otro lado, haciendo la suma de los gastos de las isopiezas, se obtiene un volumen de entradas de aguas subterráneas para el acuífero del Río Laja de **81.3 hm<sup>3</sup>/año**.

## **7.2 Salidas**

En las configuraciones piezométricas se aprecia que no existen salidas subterráneas, por lo que las únicas salidas son las extracciones por bombeo, **248.8 hm<sup>3</sup>/año**.

## **7.3 Cambio de almacenamiento**

Si se considera un coeficiente de almacenamiento S promedio de 0.05 (obtenido de las pruebas de bombeo) y un área del acuífero de 3,000 km<sup>2</sup>, se tiene un cambio de almacenamiento del orden de **-109.1 hm<sup>3</sup>/año**.

Por lo que el balance indica:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

$$\text{Entradas (R)} = \text{Entradas Subterráneas} + \text{Recarga Vertical} = 81.3 + R_v$$

$$\text{Salidas} = 248.8 \text{ hm}^3/\text{año}$$

$$81 + R_v - 248.8 = -109.1$$

$$\mathbf{R_v = 248.8 - 109.1 - 81.3}$$

$$\mathbf{R_v = 58.4}$$

Por lo tanto, Entradas Totales = Entradas Subterráneas + Recarga vertical

$$\mathbf{R_t = 81.3 + 58.4 = 139.7}$$

## 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:

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

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, corresponde con la suma de todos volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural más la recarga inducida, que para el acuífero Cuenca Alta del Río La Laja es de **139.7 hm<sup>3</sup>/año**.

## **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 de ser sostenidas para no afectar a las unidades hidrogeológicas adyacentes.

Para el acuífero Cuenca Alta del Río La Laja la descarga natural comprometida se considera prácticamente **nula**.

Por lo tanto, **DNC = 0.0**

## **8.3 Volumen de extracción anual 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 **201,684,190 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 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 139.7 - 0.0 - 201.684190 \\ \text{DMA} &= -61.984190 - \text{hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **61,984,190 m<sup>3</sup> anuales**.