



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE LEÓN (1113), 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	8
3.1. Provincias fisiográficas.....	8
3.2. Clima.....	10
3.3. Hidrografía.....	11
3.4. Geomorfología.....	12
4. GEOLOGÍA.....	14
4.1. Estratigrafía.....	16
4.2. Geología estructural.....	22
4.3. Geología del subsuelo.....	24
5. HIDROGEOLOGÍA.....	25
5.1. Tipo de acuífero.....	25
5.2. Parámetros hidráulicos.....	26
5.3. Piezometría.....	26
5.4. Comportamiento hidráulico.....	27
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	30
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	31
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	31
7.1. Entradas.....	32
7.1.1. Recarga vertical (Rv).....	32
7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	33
7.1.3. Recarga incidental (Ri).....	34
7.2. Salidas.....	35
7.2.1. Bombeo (B).....	35
7.3. Cambio de almacenamiento $\Delta V(S)$	35
8. DISPONIBILIDAD.....	36
8.1. Recarga total media anual (R).....	37
8.2. Descarga natural comprometida (DNC).....	37
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	37
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	38
9. BIBLIOGRAFÍA.....	39

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 Valle de León, definido con la clave 1113 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo centro-occidental del estado de Guanajuato, en el límite con el estado de Jalisco, entre los paralelos 20°52' y 21°21' de latitud norte y los meridianos 101°25' y 101°50' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1,321 km². Limita al norte con el acuífero Ocampo, al noreste con Cuenca Alta del Río Laja, al sur y sureste con Silao-Romita, al sur con La Muralla, al suroeste con Río Turbio; todos ellos pertenecientes al estado de Guanajuato; al oeste con San Diego de Alejandría y al noroeste con Lagos de Moreno, que pertenecen al estado de Jalisco (figura 1).

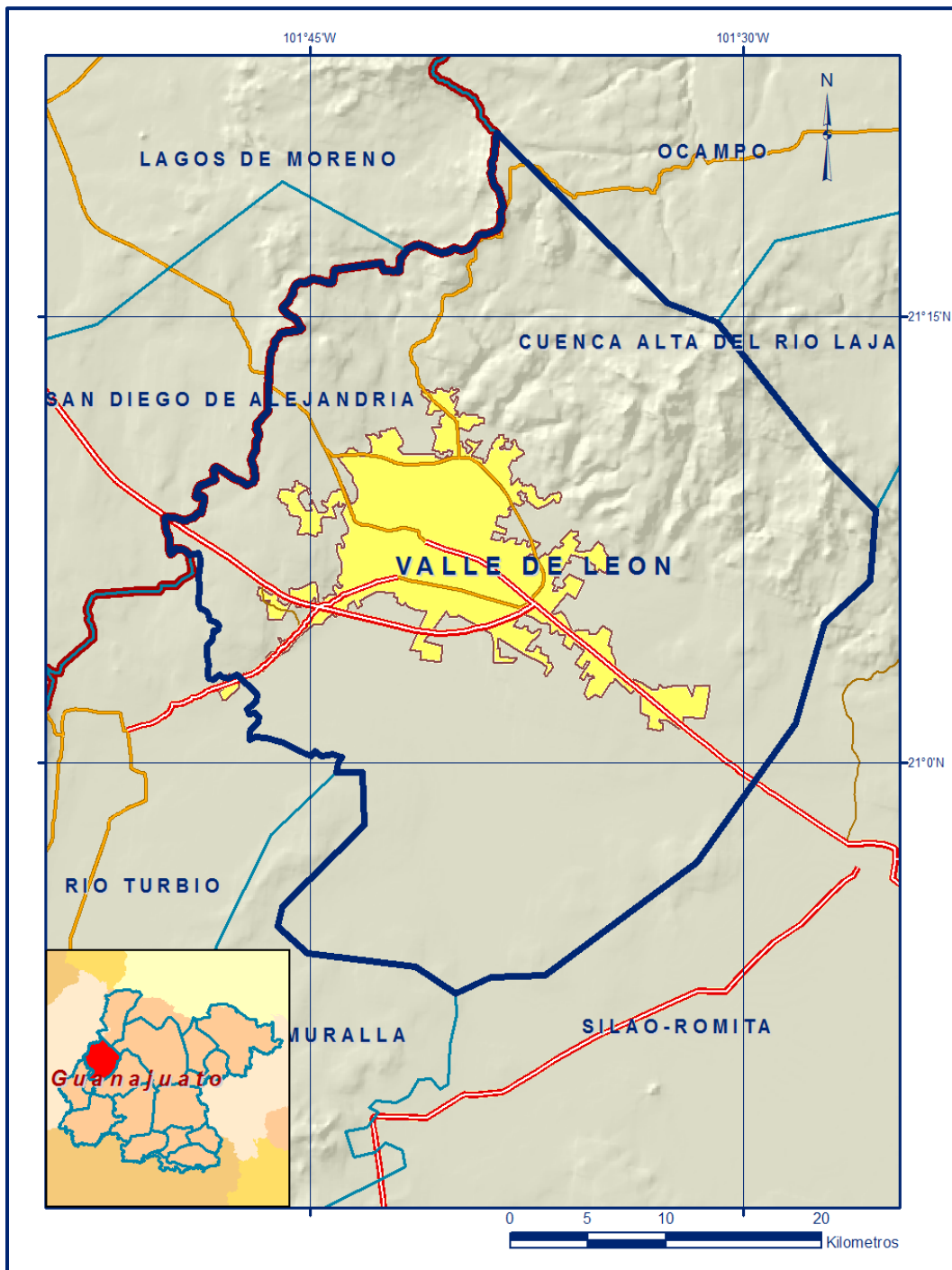


Figura 1. Localización del acuífero.

Geopolíticamente, el acuífero comprende casi la totalidad del municipio de León, porciones menores de Silao y Romita, así como pequeñas áreas de los municipios San Francisco del Rincón, Guanajuato y San Felipe.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1113 VALLE DE LEON							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	38	32.7	21	21	112	
2	101	32	37.3	21	15	27.0	
3	101	30	54.8	21	14	49.8	
4	101	27	4.9	21	10	7.6	
5	101	25	26.2	21	8	31.0	
6	101	25	37.7	21	6	6.8	
7	101	27	12.0	21	4	41.7	
8	101	28	12.0	21	1	19.2	
9	101	31	37.4	20	56	39.1	
10	101	36	52.2	20	52	52.1	
11	101	38	43.2	20	52	47.0	
12	101	39	56.8	20	52	15.3	
13	101	41	20.2	20	53	8.4	
14	101	45	4.9	20	53	36.3	
15	101	46	6.9	20	54	29.0	
16	101	45	57.6	20	55	10.8	
17	101	43	7.1	20	57	55.1	
18	101	43	10.9	20	59	41.7	
19	101	44	4.4	20	59	40.2	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE
20	101	49	10.0	21	6	58.9	DEL 20 AL 21 POR EL LIMITE ESTATAL
21	101	41	39.9	21	17	14.0	DEL 21 AL 1 POR EL LIMITE ESTATAL
1	101	38	32.7	21	21	112	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”, al consejo de Cuenca Lerma-Chapala, instalado el 28 de enero de 1993, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guanajuato. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de cuatro decretos de veda. La mayor parte está sujeta a las disposiciones del “Decreto que establece por tiempo indefinido veda para la construcción o ampliación de las obras para el alumbramiento de aguas del subsuelo, que comprenderá la zona perimetral que ocupaba el Distrito de León, Gto.” publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 25 de octubre de 1948; esta veda se clasifica como tipo I, en la que no es posible aumentar las extracciones sin peligro de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

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

En el extremo suroriental está vigente el “Decreto que establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Silao, Irapuato y Salamanca, en el estado de Guanajuato”, publicado en el DOF el 5 de junio de 1957.

Esta veda se clasifica como tipo III, en la que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros. Por último, en una pequeña área del extremo suroccidental rige el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en diversos Municipios del estado de Guanajuato”, publicado en el DOF el 14 de noviembre de 1983. Esta veda se clasifica como tipo II, en los que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo a la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El principal uso del agua subterránea es el agrícola. Dentro de su territorio no se localiza distrito o unidad de riego alguna. Los usuarios se encuentran organizados y constituidos en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de León, A.C., instalado el 1 de octubre de 1998.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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

ESTUDIO DE LAS ROCAS BÁSICAS Y ULTRABÁSICAS DE SINALOA Y GUANAJUATO: POSTULACIÓN DE UN PALEOGOLFO DE BAJA CALIFORNIA Y DE UNA DIGITACIÓN TETHYANA EN MÉXICO CENTRAL, 1982. Serváis, M. R. Rojo Y. y D. colorado L. Revista Geomimet, v.3 n.115. pp. 53-71. En este estudio se define un bosquejo geológico del área San Juan de Otates, donde afloran rocas ultrabásicas y básicas, agrupándolas por su carácter alóctono y ofiolítico, bajo el nombre de Complejo Ofiolítico San Juan de Otates. Establece que estos elementos ultrabásico y básico, son testigos de un dominio oceánico de afinidad tetisiana del Mesozoico Tardío, quedando excluidas de los complejos ofiolíticos de afinidad pacífica del noroccidente de México. Menciona también que esta zona representa el flanco norte de una estructura de fosas tectónicas, representada por la planicie de León, donde la tectónica de fallas normales con buzamiento casi vertical, ligeramente hacia el sur, afectó a las formaciones del Oligoceno-Mioceno y a su basamento, configurando una topografía en “escalera”, de donde se extravesó el magma basáltico post-ignimbrítico.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE LEÓN, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Elaborado en 1982 por Ariel Construcciones, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Con base en la profundidad al nivel estático, identifica la existencia de dos unidades acuíferas: una hasta 200 m de profundidad y otra de profundidades entre 200 y 600 m.

Calcula una extracción de 104.6 hm³ anuales y con base en la interpretación de pruebas de bombeo determina un valor de transmisividad media de 6.75 x10⁻³ m²/s. A pesar del desconocimiento del comportamiento del acuífero inferior, menciona que la explotación de éste es mínima en comparación con el acuífero superior. En cuanto al problema de la contaminación de los acuíferos, establece que proviene de la laguna de oxidación El Mastranzo, que afectaba al acuífero en un radio 3 km, y por la infiltración de las aguas negras utilizadas en el riego. Por último, pero con igual relevancia, se afirma que existe una comunicación subterránea a través de las unidades sedimentarias de los valles de León y Río Turbio.

ESTUDIO DE EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN LA ZONA DE LA MURALLA, GUANAJUATO. Realizado en 1987 por Antonio Trujillo Candelaria.

En este estudio identifica, a través de perforaciones exploratorias, la presencia de un acuífero termal confinado compuesto por ignimbritas riolíticas fracturadas con un espesor medio de 120 m., teniendo "*...como confinante inferior, un potente depósito de conglomerados rojos impermeables y como confinante superior un cuerpo estratificado de calizas arcillosas impermeables*". Además, afirma que la producción de agua "*...se obtiene principalmente de acuíferos en materiales granulares...*" y de "*...los acuíferos en rocas volcánicas fracturadas de tipo riolítico y basáltico...*". En cuanto al problema de contaminación del agua subterránea, responsabiliza a la planta industrial Química Central, como la principal fuente de contaminación de cromo hexavalente en el sistema hídrico subterráneo local hacia ambas márgenes del Río Turbio, y declara, por otra parte, que la contaminación subterránea también es una consecuencia "*...de la infiltración de aguas negras del Río Los Gómez, del embalse de la presa El Mastranzo y de la zona de riego que aprovecha esas aguas.*"

SÍNTESIS GEOLÓGICA DE LA SIERRA DE GUANAJUATO. SERIE DE CARTAS GEOLÓGICAS Y MINERAS DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM, MÉXICO, D.F.

Elaborada en 1989 por Martínez Reyes J. Hace un análisis de la situación de conocimiento de la geología de la Sierra de Guanajuato, una síntesis geológica de las diversas unidades litoestratigráficas cartografiadas e interpreta la evolución tectónica de ellas.

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

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

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

EFFECTS OF WASTEWATER ON URBAN GROUNDWATER RESOURCES OF LEÓN, MÉXICO. Realizado en 1996 por el British Geological Survey (BGS) y la Comisión Nacional del Agua. El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos que tiene el reúso de las aguas residuales de la ciudad de León para el riego, sobre las fuentes de abastecimiento de agua potable que se localizan en la misma zona. Los resultados del muestreo de suelo y agua subterránea indican lo que otras investigaciones habían determinado con relación al impacto que tiene en las actividades agrícolas del valle de Río Turbio, la utilización por más de 40 años de aguas residuales que contienen cromo y otros metales traza provenientes de la industria del calzado.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO MATEMÁTICO DEL ACUÍFERO VALLE DE LEÓN. Realizado en 1998 por Geofísica de Exploraciones, GUYSA, S.A. de C.V., para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato. Es un trabajo de actualización hidrogeológica que tuvo como objetivos principales estimar el espesor y la disposición en el subsuelo de las unidades acuíferas.

Así como identificar las estructuras hidrogeológicas, realizar el censo de aprovechamientos e hidrometría de las extracciones, plantear el balance de aguas subterráneas y definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico; todo ello para construir un modelo matemático del flujo subterráneo mediante el cual se propongan políticas de operación y administración del recurso hídrico subterráneo.

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

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL ACUÍFERO VALLE DE LEÓN EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Realizado en 2008 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Comisión Nacional del Agua. Este estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas en el acuífero y las características que condicionan el movimiento, balance y disponibilidad de las aguas subterráneas.

PIEZOMETRÍA E HIDROMETRÍA DE LAS EXTRACCIONES DEL ACUÍFERO VALLE DE LEÓN, 2015. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). Presenta piezometría histórica y actualizada del acuífero y la estimación de los volúmenes de extracción, derivadas del censo e hidrometría. La información de estas dos últimas fuentes fue la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincias fisiográficas

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

De acuerdo a la clasificación del Instituto de Geografía Estadística e Informática (INEGI), 1997, el acuífero se ubica en estas dos Provincias Fisiográficas:

En las Subprovincias Bajío Guanajuatense y Altos de Jalisco, pertenecientes a la Provincia Fisiográfica Eje Neovolcánico, y la Discontinuidad llamada Sierra de Guanajuato, que pertenece a la Provincia Fisiográfica Mesa Central.

El Eje Neovolcánico es una provincia cenozoica de origen volcánico formada en un ambiente tectónico de arco continental (Ortega-Gutiérrez et al., 1992). Q

Se caracteriza por una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica producto de coladas de lava, conos cineríticos, domos de lava, maars, volcanes escudo, volcanes compuestos y calderas, que se emplazaron en episodios sucesivos entre el Mioceno y Cuaternario. Está orientado en dirección este-oeste atravesando la porción central de la República Mexicana.

Uno de los rasgos más característicos es la presencia de una franja de estratovolcanes que se extienden casi en línea recta alrededor del paralelo 19°. Además de estos estratovolcanes y volcanes tipo escudo, esta provincia también incluye sierras volcánicas, grandes coladas de lava, depósitos de ceniza, así como estructuras de calderas volcánicas. De oeste a este los volcanes más importantes son el volcán de Colima, Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Pico de Orizaba, Cofre de Perote y La Malinche.

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

La mayor parte de la Subprovincia Altos de Jalisco se ubica dentro del estado de Jalisco, aunque pequeñas porciones de ella entran en Zacatecas y Aguascalientes, y una porción mayor en Guanajuato; se caracteriza por amplias mesetas de origen volcánico de origen lávico y presenta mayor densidad de topofomas degradativas, generadas por disección hídrica y abundancia de valles profundos.

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

Sus principales elevaciones están conformadas esencialmente por rocas volcánicas de tipo riolítico, que conforman serranías altas, en forma de mesetas, con elevación media de 2,000 msnm. La discontinuidad fisiográfica de valles paralelos del suroeste de la Sierra de Guanajuato, se caracteriza por la forma vertical convexa de sus valles; esta discontinuidad está representada por el sistema de topofomas sierra con valles paralelos, los cuales están separados entre sí por áreas planas en sus partes altas.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1964), para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predomina el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual que varía de 16.9 a 20°C, en el que mayo y junio son los meses más calurosos del año. De manera más precisa, están presentes 5 tipos de climas que por área de influencia son los siguientes: El tipo de clima BSkw(w) semiseco semicálido o seco estepario semicálido se presenta en la porción central del área y se caracteriza porque la evaporación excede a la precipitación. La precipitación media anual oscila entre 600 y 700 mm, siendo su máxima incidencia durante el mes de agosto con un rango de 150 a 160 mm y su incidencia mínima en mayo con un índice menor de 10 mm. La temperatura media anual es de 19°C, con un registro máximo de 24°C en el mes de mayo y un mínimo de 15°C en los meses de enero y diciembre.

Clima semicálido subhúmedo (menor humedad), (A)C(w0) (w). Es el clima semicálido menos húmedo que se presenta en el estado de Guanajuato; comprende la porción inferior del área del acuífero y en las estribaciones topográficamente bajas del flanco suroccidental de la Sierra de Guanajuato. La precipitación media anual varía de 700 a 800 mm, siendo el mes de agosto el de máxima precipitación (160-170 mm) y febrero el de menor incidencia pluvial (menos de 5 mm). En cuanto a temperatura, la media anual es de 19°C, registrándose la mayor temperatura de 24°C en el mes de mayo y la más baja de 15°C en enero.

El clima templado subhúmedo (menor humedad) C(w0); presenta temperatura intermedia (mesotérmico), con grado de humedad variable. Se registra en las partes topográficamente más altas del área, en el flanco suroccidental de la Sierra de Guanajuato. Su precipitación media anual fluctúa entre 700 y 800 mm, con mayor incidencia de lluvias en el mes de agosto (170-180 mm) y la menor en febrero (5 mm). El registro de temperatura media anual es de 17°C, con una máxima de 22° C en el mes de mayo y una mínima de 13°C en el mes de enero.

El clima templado subhúmedo C(w1)(w) (intermedio en cuanto a humedad), se presenta al sur de los municipios de Pénjamo, Coroneo, Jerécuaro y al centro del estado, así como en algunas partes de los municipios de Guanajuato y Dolores Hidalgo. Su precipitación media anual oscila entre los 700 y 800 mm y la temperatura media anual varía de 16 a 18°C, con valores máximos en el mes de julio (120 a 130 mm) y febrero el más seco con un valor menor de 10 mm.

En mayo se registra la temperatura máxima que varía de 21 a 22°C; y enero es el mes más frío con una temperatura que oscila entre 11 a 12°C, clima templado subhúmedo C(w₂)(w) (humedad alta) el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano. La temperatura promedio es de 12 a 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente es mayor de 6.5°C. La precipitación anual es de 1,092 mm, siendo febrero el mes más seco y julio el más húmedo con 228 mm de precipitación; el porcentaje de lluvia invernal es de 3.57%.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de INEGI para el periodo 1975-1997, obteniendo valores promedio anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial **615 mm/año**, **18.2°C** y **615.6 mm**, respectivamente.

3.3. Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago, Subregión Hidrológica "Medio Lerma", en la cuenca del Alto Turbio y en la subcuenca Río Turbio-Presa El Palote. Su principal corriente es el río Los Gómez o río León, que es el colector público de las aguas residuales de la ciudad de León, el cual sigue una dirección noreste-suroeste, desde la presa El Palote, al norte de ciudad referida hasta la localidad de San Francisco del Rincón, donde entra a la zona del Río Turbio y cambia su nombre por el de esa zona; como afluentes principales tiene a los arroyos Los Castillos y Hacienda de Arriba, los que a su vez reciben aportaciones de corrientes intermitentes que descienden de la sierra. En algunos sitios el escurrimiento superficial ha sido alterado por la construcción de almacenamientos superficiales (El Palote, San Juan de Otates, La Laborcilla y El Barrial), por la adición de aguas negras a drenajes naturales o por la construcción de lagunas de oxidación (El Mastranzo, San German, Trinidad) sobre el cauce del río Los Gómez. A 22 km al NNE de la ciudad de León nace el arroyo Los Castillos, en el estado de Jalisco, cuyos aportes de agua provienen del arroyo Ibarra, a través del canal de mismo nombre y el canal Los Castillos a la presa El Palote, abastecedora de agua potable a la ciudad de León.

Existen otros escurrimientos como son los arroyos San Juan de Otates, La Noria, La Joya, Los Sauces, La Tinaja, Grande, Alfaro y El Salto, que descienden de la Sierra de Guanajuato hasta internarse en el valle, donde algunos volúmenes de agua son interceptados por canales de riego y otros se infiltran en el subsuelo.

La estructura hidráulica más importante en la zona es la presa El Palote, alimentada por el arroyo La Patiña, que se une al arroyo Hacienda de Arriba, así como los arroyos Rincón de los Caballos y Tigre, este último también provee a la presa El Cojinillo. Superficialmente, los escurrimientos de la ciudad de León los capta la presa El Mastranzo, que pasan al bordo La Trinidad, donde recibe aportaciones de los arroyos La Joya 6 y La Mora, y descarga las aguas a la presa San Germán, de la cual se conducen a través del Río Los Gómez para unirse, aguas abajo, con el Río Turbio.

3.4. Geomorfología

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

Unidad Sierra de Guanajuato. Es la zona montañosa más prominente del área y la constituyen, al menos superficialmente, las unidades litoestratigráficas: Piroxenita San Juan de Otates, Complejo Sierra de Guanajuato, Conjunto Plutónico La Luz, Granito Comanja, Conglomerado Guanajuato, Ignimbrita Cuatralba, Basalto El Cubilete y Gabro Arperos. En conjunto es muy abrupta y favorable para que, en condiciones de gran precipitación, el agua forme torrentes violentos que disectan densamente el relieve, que implica un alto índice de escurrimiento y una infiltración restringida. Prueba de lo anterior es el hecho de que, en la desembocadura de los cauces principales hacia la planicie, se encuentren presas o bordos de almacenamiento, captadores de los escurrimientos generados en esta unidad hidrogeomorfológica. Sin embargo, es muy importante denotar que gran cantidad del volumen de agua precipitada que se manifiesta como escurrimiento o infiltración, finalmente se integra al sistema de flujo del agua subterránea como lo demuestran los parámetros geomorfológicos y las observaciones de campo.

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

Unidad Altos de Jalisco.

Unidad representada por el conjunto de lomas y mesetas de mediana elevación con relación a la unidad anterior, que se distribuye en toda la porción occidental del área y en las partes topográficamente altas del sur del valle.

Agrupada a rocas volcánicas del Cenozoico pertenecientes a las unidades litoestratigráficas aflorantes: Andesita Bernalejo, Ignimbrita Cuatralba, Basalto Dos Aguas y Basalto El Cubilete.

La pendiente es muy suave en la cima de estas mesetas y fuerte en las laderas de las mismas, mientras que los valores de los demás parámetros son relativamente bajos, lo que aunado al fracturamiento que la afecta, le confieren gran capacidad de infiltración y, por lo tanto, un escurrimiento sin logros de gran densidad de denudación del relieve.

Como se puede observar en campo y en el análisis geomorfológico, esta unidad hidrogeomorfológica está principalmente condicionada por fracturas y fallas, lo que significa que gran parte del volumen de agua precipitada llega a formar parte del sistema hidrológico subterráneo.

Unidad Zona del Bajío. Unidad constituida por depósitos de material medianamente consolidado (Terciario Granular Indiferenciado) y sin consolidar (Aluvión), que afloran principalmente en las partes topográficas más bajas del valle, producto de la actual acción de los factores exógenos niveladores del relieve. Se distinguen, según la litología, dos áreas bien diferenciadas: una, franja de transición (pie de monte) y la otra, planicie acumulativa de nivel de base.

La Franja de transición (pie de monte) se localiza entre las estribaciones montañosas (sierras y mesetas) y la planicie acumulativa de nivel base del valle de León. Se caracteriza por ser vía de infiltración de los escurrimientos que alcanzan esta unidad litoestratigráfica.

El drenaje es de tipo paralelo, con máximo orden de corrientes de 2 y un bajo rango de densidad de disección del relieve. Su origen se debe al proceso erosivo-acumulativo que ejercen algunos factores externos, durante cierto lapso de tiempo.

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

4. GEOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico, el acuífero Valle de León se encuentra circunscrito en el límite entre dos provincias fisiográficas que presentan episodios volcánicos característicos. Por un lado, la Mesa Central dentro de la que se encuentra la Sierra de Guanajuato, que representa un elemento estructural muy importante ya que en ella afloran las rocas más antiguas del estado de Guanajuato; y, por otra parte, el Eje Neovolcánico, constituido esencialmente por rocas de composición básica e intermedia, cuya frontera septentrional se encuentra precisamente dentro del sistema-acuífero (Figura 2).

Dicha frontera se manifiesta por un cambio abrupto en el tipo de rocas volcánicas y por la presencia de estructuras regionales que contienen grandes espesores de rocas volcánicas. Esto se refleja, como en la mayor parte del estado de Guanajuato, en el afloramiento de secuencias de rocas ácidas representadas por ignimbritas que se correlacionan con el segundo episodio efusivo de la Sierra Madre Occidental.

Las rocas más antiguas corresponden a rocas alóctonas de arco magmático (Arco Guanajuato; Ortíz, 1988; Monod et al., 1990), las cuales están superpuestas tectónicamente y consisten de rocas ultramáficas (Unidad San Juan de Otates), diorita (Tuna Mansa) y Tonalita (Cerro Pelón).

Durante el Aptiano-Albiano se desarrolla el arco volcánico de Guanajuato constituido por tres unidades: la Unidad Vulcanosedimentaria, denominada informalmente como Formación Esperanza (Echegoyén et al., 1970), consiste de lutitas, lutitas carbonosas, limolitas, areniscas, pedernal negro y calizas con intercalaciones de andesitas de estructura almohadillada, que en conjunto presentan cierto grado de metamorfismo de facies de esquistos verdes. No se ha encontrado fauna y no existen estudios que le asignen una edad precisa; por relación estratigráfica, se le asignó una edad Aptiano-Albiano.

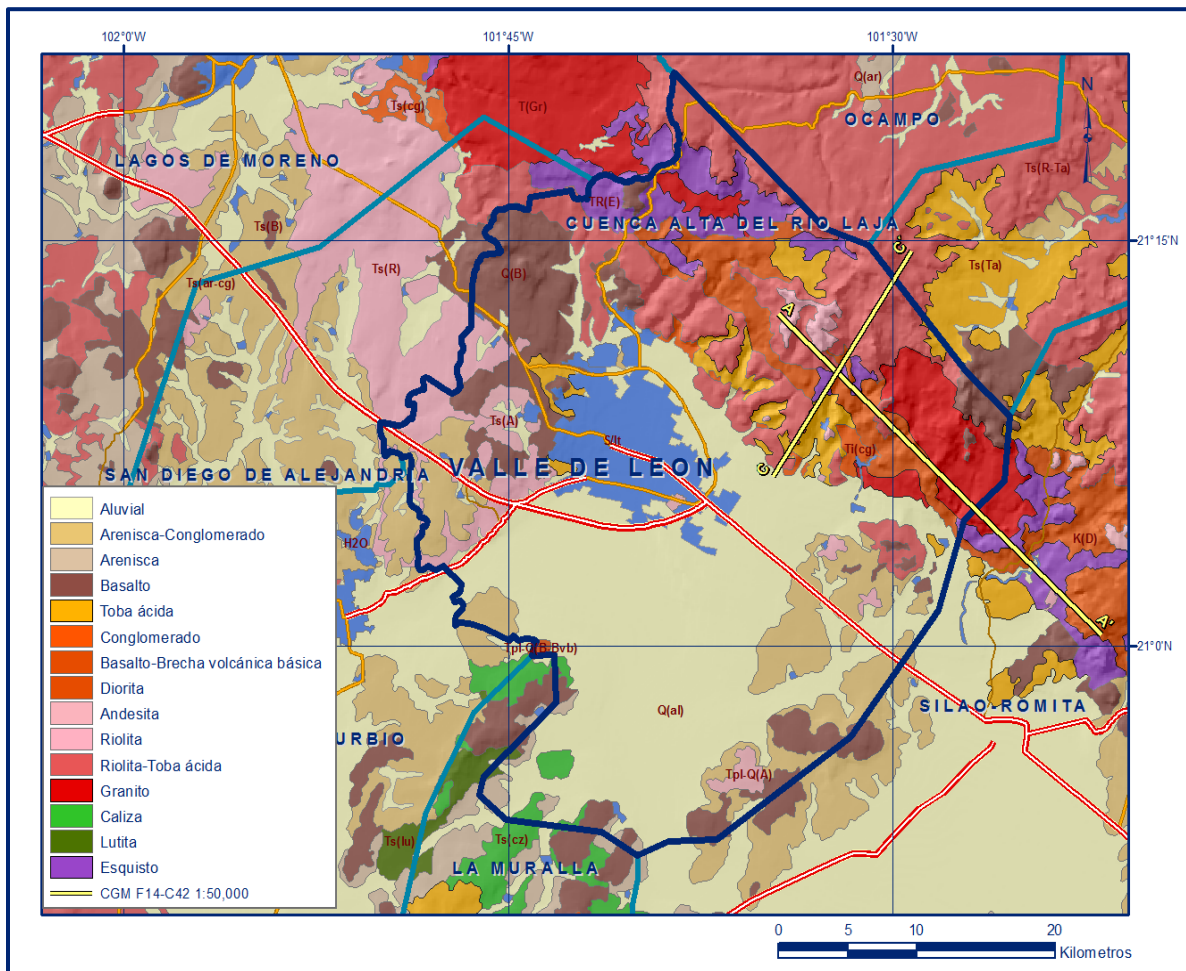


Figura 2. Geología general del acuífero

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

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

Durante el Paleoceno al Oligoceno Inferior se deposita discordantemente la Formación Guanajuato (Monroy, 1988, Botsford, 1909m Wankle, 1928, Guiza; 1949 y Edwards, 1956), compuesta por clastos de cuarzo, caliza y andesitas, cementados en una matriz arcillosa; cuyo espesor se estima en 1,500 m.

Cubriendo a la unidad anterior se tiene a la Andesita El Gigante-Bernalejo, compuesta por derrames de lava de composición andesítica, con un espesor mayor de 200 m. Su edad puede ubicarse tentativamente a principios de Oligoceno Medio, sobre la cual descansa la Formación Chichíndaro, que consiste de una secuencia muy potente de rocas volcánicas de composición riolítica, formada por tobas, lavas, brechas y domos; de edad Oligoceno Medio.

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

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

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

Finalmente, se acumularon depósitos de aluvión en las partes topográficamente más bajas o en los cauces de los arroyos. (Carta Geológico-Minera Nuevo Valle de Moreno F14-C42, escala 1: 50,000, SGM, 1999).

4.1. Estratigrafía

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

JURÁSICO

Piroxenita San Juan de Otates

Definida por Serváis *et al.* (1982) para referirse al complejo ultramáfico que aflora en la Sierra de Guanajuato, a lo largo del Arroyo San Juan de Otates, ubicado al noreste de León. Estos afloramientos fueron los primeros en interpretar el origen de estas rocas, como parte de un complejo ofiolítico.

La unidad consiste de rocas masivas cristalinas de color verde oscuro en roca sana y verde claro en roca alterada (serpentinizada). La mineralogía esencial está representada por augita y olivino, como minerales secundarios o de alteración antigorita, clorita, talco y minerales opacos; y la actinolita como mineral formado por incipiente metamorfismo regional de facies esquistos verdes (Martínez, 1987).

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

CRETÁCICO

Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato

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

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

Componente sedimentario. Considera las calizas y lutitas dispuestas en estratos delgados, abundantes areniscas de color verde en estratificación gradada con fragmentos líticos de origen pelítico y en menor proporción fragmentos ígneos, de caliza y pedernal.

Ocasionalmente se observan bancos de conglomerados de color verde con clastos redondeados a bien redondeados de origen diverso (Martínez, op, cit.).

Componente volcánico. Se caracteriza por la presencia de lavas de composición basáltica, andesítica y dacítica, en estructuras masivas o almohadilladas, con niveles de brechas, tobas y detritos de la misma composición, generalmente en tonos verdosos.

Mineralógicamente estas rocas presentan plagioclasas, clorita, epidota, calcita, minerales opacos y cuarzo (Martínez, 1987).

La unidad presenta fuertes plegamientos, producto de periodos de deformación compresiva y por intrusión del Granito Comanja.

Corona (1988) asigna, al Complejo Vulcanosedimentario Sierra Guanajuato, una edad Titoniano-Valanginiano.

La unidad es correlacionable con la Formación Esperanza y con la Formación La Luz del distrito minero de Guanajuato, considerándose a la primera como la unidad basal (componente sedimentario) y la segunda como la unidad sobreyacente (complejo volcánico).

Conjunto Plutónico La Luz

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

La tonalita la conforman oligoclasas, cuarzo, biotita, moscovita, minerales secundarios (clorita, esfena, epidota y sericita) y minerales accesorios de apatita.

El rasgo común de toda la unidad es el grado de metamorfismo y alteración que presentan dichas rocas, las cuales sobreyacen tectónicamente a la facies vulcanosedimentarias de la unidad anterior. Su edad corresponde al Cretácico temprano (Martínez, 1992).

CENOZOICO

Granito Comanja

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

El Granito Comanja (granito Arperos, como lo denominó por primera vez González, 1959) es una roca sin deformación importante, que presenta una aureola de metamorfismo de contacto en sus límites con la roca encajonante.

La presencia de esta unidad marca el inicio de una paleografía continental para la Sierra de Guanajuato (Martínez, 1992). Se encuentra en discordancia con todas las unidades que cortó durante su intrusión. Se le ha asignado una edad absoluta de 54 Ma (Mujica Albarrán, 1983) que corresponde al Eoceno Temprano.

Conglomerado Guanajuato

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

Se describe como un conglomerado polimíctico, bien consolidado, dispuesto en estratos gruesos, generalmente inclinados, de color característico rojo-café y tonalidades verdosas, producto de alteración hidrotermal.

Está constituido de clastos de diversos tamaños y origen, empacados en una matriz arenosa, cementada por óxidos de hierro y/o carbonatos; ocasionalmente con horizontes de areniscas, limolitas y lutitas.

Cubre discordantemente al conjunto basal anterior y su contacto superior está en discordancia angular con la Ignimbrita Cuatralba. Ferrusquía Villafranca (1987) reporta que la parte basal de esta unidad, en el distrito minero de Guanajuato, es de edad Eoceno Medio-Eoceno Tardío, determinada a partir del análisis paleontológico de vertebrados.

Andesita Bernalejo

Denominada así por Quintero (1986) al referirse a las andesitas que afloran en la cercanía del poblado Bernalejo; son de color gris oscuro con tonalidades violáceas, muy resistentes a los procesos erosivos, con una textura que varía de microcristalina a porfírica, donde los fenocristales son principalmente de abundante plagioclasa alterada; excepcionalmente con vesículas, algunas rellenas de calcita. Otra característica es su gran fracturamiento y alteración.

Su espesor no se ha determinado, se considera que está en contacto discordante con las unidades intrusivas al poniente de San Francisco del Rincón, y le sobreyacen unidades ignimbríticas. Hernández (1991) sugiere una edad tentativa de Oligoceno Temprano, basándose en la posición estratigráfica de la unidad y considerando válidas las edades del Conglomerado Guanajuato y de la Ignimbrita Cuatralba, además de la correlación con la Andesita El Cedro del distrito minero de Guanajuato, de edad absoluta correspondiente al Oligoceno.

Ignimbrita Cuatralba

Unidad compuesta por material volcánico de naturaleza piroclástica que conforma a las numerosas mesetas de la Sierra de Guanajuato (Quintero, op. cit.) y ampliamente distribuida en todo el estado.

Hernández (op. cit.), la divide informalmente en dos miembros, el miembro inferior se compone de una toba masiva, de composición félsica, de color que varía de café claro a crema, poco consolidada, con materiales predominantes cenizas, con escasos fragmentos líticos y pómez, sin colapsar.

El miembro superior es una roca ignimbrítica bien consolidada de espesor variable y textura porfírica, con abundantes fenocristales de cuarzo, sanidino y escasas plagioclasas, inmersos en una matriz muy fina en algunas porciones vítrea; presenta estructuras fluidal y de flamas que son características, así como el desarrollo de diaclasas columnares.

Por su baja resistencia a la erosión, el miembro inferior no siempre se detecta, por lo cual es difícil estimar su espesor total. El miembro superior descansa en discordancia sobre la Andesita Bernalejo (Hernández, 1991), siendo este contacto a través de un vitrófido de aproximadamente tres metros de espesor.

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

Basalto Dos Aguas

Nombre asignado por Quintero (op.cit.) a los derrames lávicos esparcidos por una estructura volcánica al noroccidente de la ciudad de León. La unidad está conformada por un solo afloramiento extenso y continuo de basalto de olivino, de color gris oscuro y textura microcristalina, asociado a productos piroclásticos de la misma composición generados a partir del Volcán Cerro Dos Aguas. Los derrames se encuentran interdigitados con la Ignimbrita Cuatralba, por lo que se le asigna una edad tentativa del Oligoceno, considerándolo, además, como un vulcanismo bimodal, típico de una tectónica distensiva.

Cenozoico Granular Indiferenciado

Se propone este nombre informal para todo el material sedimentario de ambiente continental y lacustre, excepto el aluvión, que aflora en forma de lomeríos redondeados, en la porción media-sur del área, sin considerar el aluvión que se encuentra rellenando la depresión de bajío. Está constituida por conglomerados, areniscas, limolitas lutitas y depósitos sedimentarios heterogéneos (gravas, arenas, limos y arcillas) de compacidad variable; localmente en la zona de La Muralla, incluye a calizas que varían a margas. Sobreyace discordantemente a la Ignimbrita Cuatralba, se encuentra en contacto con la Andesita Bernalejo por medio de fallas normales y subyace concordantemente al Basalto El Cubilete. La edad asignada a esta unidad, abarca desde el Mioceno hasta finales del Pleistoceno o principios del Holoceno.

CUATERNARIO

Gabro Arperos

Denominación dada por Martínez (1987) a una roca hipabisal que aflora en los alrededores del poblado Arperos y en la cercanía del poblado Nuevo Valle de Moreno, con una extensión de aproximadamente 3 km². Se trata de un gabro de color oscuro y textura holocristalina, con minerales de labradorita, piroxenos, olivino y minerales opacos (Martínez, 1992).

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

Basalto El Cubilete

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

En algunas localidades se encuentra en discordancia angular, como en el contacto con el Complejo Sierra de Guanajuato, y en otras ocasiones concordantemente, como en el Cerro Gordo ubicado al noroeste de la ciudad de León.

La edad propuesta por Quintero (1986) para el Basalto El Cubilete es post-pliocénica y Martínez (1992) generaliza al decir que corresponde al Cuaternario.

Aluvión

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

4.2. Geología estructural

En la región se presentan eventos compresivos –pliegues y cabalgaduras- y distensivos -fallas- que definen los diversos estados de deformación que han afectado a las rocas desde el Mesozoico hasta la actualidad, los cuales que se agrupan en la forma siguiente: esfuerzos compresivos, que afectan a rocas cristalinas, volcánicas y sedimentarias marinas del Mesozoico –Complejo Vulcanosedimentario Sierra de Guanajuato y a la Piroxenita San Juan de Otates-, y esfuerzos distensivos –sistemas de fallas y fracturas- durante el Cenozoico, que determinaron la actual geometría del sistema de fosas y pilares tectónicos, de gran importancia para la conceptualización de la hidrodinámica del subsuelo.

Por ser los esfuerzos distensivos los causantes de pilares y fosas tectónicas, que finalmente participan en la formación de cuencas hidrológicas y a sistemas de aguas subterráneas, es importante mencionar que existen tres sistemas característicos de fallas normales en direcciones preferenciales NW-SE, NE-SW y N-S, con edades de formación y reactivación (?) inciertas y discutibles.

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

El desplazamiento de estas unidades parece ser del SSW hacia el NNE, como evidencia las alineaciones mecánicas y minerales de los contactos tectónicos entre ellas (Ortiz et al., 1990), los cuales se observan en el distrito minero de Guanajuato y en la Sierra de León-Guanajuato.

Para el Maestrichtiano y Paleoceno Inferior, ocurrió una fase de deformación compresiva Laramídica que generó plegamientos con orientación preferente NW-SE. Como consecuencia de la relajación de la corteza, ocurrida al concluir los efectos compresivos, se presentan, a partir del Eoceno, fases de tipo extensional que ocasionaron sistemas de fallas normales que se observan en la porción centro y sur del área, con orientación preferencial al NE y en algunos casos N-S, que formaron estructuras regionales de tipo grabens o fosas tectónicas como la de Villa de Reyes, así como el horst de la Sierra de Guanajuato, que tiene un rumbo preferencial N50°W, acompañado de fallas paralelas como la del Bajío. Los arroyos son cortados por fallas y fracturas, con mayor frecuencia de rumbo NW 20-50° SE, y en menor proporción NE 30-50°SW; destacan las estructuras con rumbo general NW-SE como la del Bajío y La Campechana principalmente. Este sistema ha sido estudiado en diferentes épocas debido a que en él se emplazó el sistema de vetas La Luz.

En el Cenozoico ocurrió el emplazamiento de un batolito de tipo granítico, junto con diques y troncos que afectaron a las rocas del Jurásico y Cretácico, generando metamorfismo y metasomatismo de contacto, dando origen a zonas de skarn con presencia de mineralización de sulfuros base, asociados con plata principalmente (Carta Geológico-Minera Nuevo Valle de Moreno F14-C42, escala 1: 50,000, SGM, 1999).

4.3. Geología del subsuelo

Con base en información geológica superficial, cortes litológicos de pozos y resultados de la interpretación de sondeos geofísicos, se puede señalar que el agua subterránea se presenta en un ambiente hidrogeológico constituido por un sistema distensivo de bloques tectónicos escalonados (rocas volcánicas y piroclásticas de la Ignimbrita Cuatralba), con una arquitectura en escalonamiento que conforman pilares (horst) y fosas (grabens) asimétricas.

En general rellenas de material sedimentario terrígeno de la unidad Terciario Granular Indiferenciado, de granulometría y compacidad variable, y rocas calizas de origen lacustre de esta misma unidad, como es el caso del acuífero vecino La Muralla.

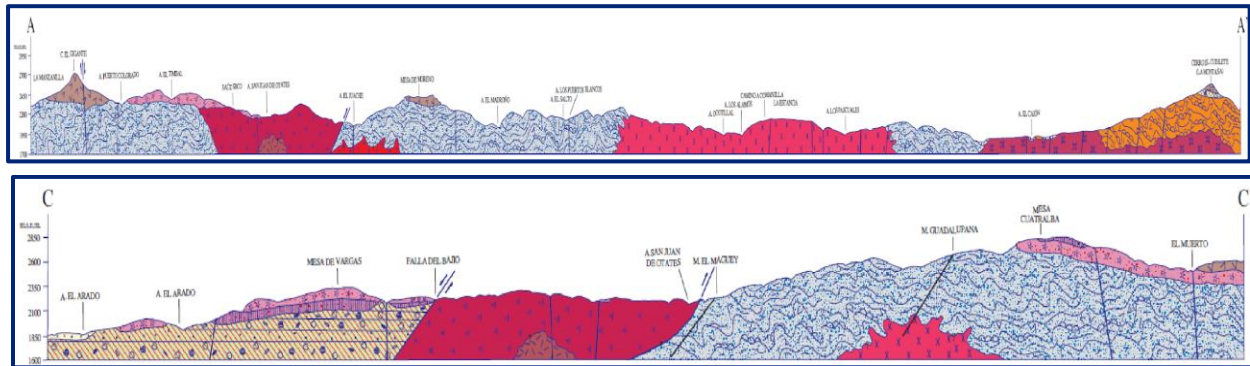
El acuífero consta de dos medios: uno granular conformado por tobas semicompactas, sedimentos aluviales y rocas de baja a mediana compactación; y otro fracturado alojado en rocas de composición riolítica.

En la porción superior se encuentra el material granular al que le subyace el paquete del medio fracturado que, en conjunto, forman la fosa tectónica conocida como Valle de León, la cual está rellena por rocas sedimentarias de compactación variable; estos paquetes granulares se encuentran separados por ignimbritas fracturadas que mantienen conexión hidráulica con las demás unidades que conforman el acuífero; que presentan espesores de 200 a 900 m.

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

La disposición de las unidades de interés hidrogeológico en el subsuelo, así como las estructuras que las afectan, ocasionaron su desplazamiento debido a la presencia de la prolongación de la Falla del Bajío.

En las secciones geológicas esquemáticas mostradas en la figura 3, se puede observar las unidades que conforman la zona de la Sierra de Guanajuato.



Fuente: Carta Geológico-Minera Nuevo Valle de Moreno F14-C42, escala 1:50000, SGM, 1999

Figura 3. Secciones geológicas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, hidrogeológica y geofísicas permite establecer que la dinámica del agua subterránea se presenta en un sistema-acuífero **libre**, tipo granular-fracturado-con doble porosidad, heterogéneo y anisótropo de continuidad hidráulica regional, entre unidades volcánicas, piroclásticas, vulcano-sedimentarias y depósitos terrígenos de compactación variable

Está constituido, en su porción superior, por un medio granular constituido por sedimentos aluviales, tobas semicompactas y rocas de baja a mediana compactación; y otro inferior fracturado conformado por rocas volcánicas de composición riolítica y en menor proporción basáltica.

La granulometría de los materiales aluviales y vulcanoclásticos varía desde arcilla a grava y su espesor alcanza varias centenas de metros, de acuerdo con la distribución y forma de las fosas tectónicas que los contienen.

Por su parte, el medio volcánico fracturado presenta un gran espesor, con marcadas propiedades heterogéneas-anisótropas debido al patrón de fracturamiento que determina la ocurrencia y distribución del agua subterránea.

El paquete en su conjunto está afectado por tectonismo, generando un sistema de fosas y pilares tectónicos.

5.2. Parámetros hidráulicos

Para el análisis de los parámetros hidráulicos se utilizó la información procedente de pruebas de bombeo de larga duración realizadas en estudios previos, concentradas en CEAG (1998) y Hernández (1991) así como de 8 ensayos más realizados en 2008 (CONAGUA), tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se obtuvieron valores de transmisividad que varían en el rango comprendido entre **0.1 y $14.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (8.6 y $1210.0 \text{ m}^2/\text{d}$).**

Adicionalmente, para la obtención de la conductividad hidráulica se utilizó el modelo numérico de Rathod y Rushton (1991); los valores obtenidos dependen de la unidad hidrogeológica de que se trate.

En general, varían de **0.03 a 10.0 m/d ($3.5 \cdot 10^{-7}$ a $1.16 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$)** para los sedimentos de la unidad Terciario Granular Indiferenciado, disminuyendo hacia las fronteras del valle, donde se registran valores de **0.1 a 0.4 m/d ($1.2 \cdot 10^{-6}$ a $4.6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$)**, que litológicamente corresponde con las tobas de la Ignimbrita Cuatralba.

Ninguna de las pruebas contó con pozos de observación; sin embargo, con el modelo numérico de Rathod y Rushton se obtuvieron valores de 0.08 a 0.13 para el rendimiento específico y de 0.00001 a 0.009 para el coeficiente de almacenamiento.

5.3. Piezometría

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

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

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

La profundidad al nivel estático para el 2013 presentó valores que varían de 50 a 160 m, que de manera general se incrementan conforme se asciende topográficamente y solo en la zona agrícola ubicada al sur de la ciudad de León se modifica esta tendencia por la concentración de la extracción. Los valores más profundos, de 120 a 160 m, se registran en la porción central del acuífero y al norte, hacia las estribaciones de La Sierra de Guanajuato. En la zona urbana de León la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 80 a 100 m. Los niveles menos profundos, con valores de 50 a 70 m, se presentan en la región suroccidental del acuífero, entre las localidades Plan de Ayala y San Francisco del Rincón (figura 4).

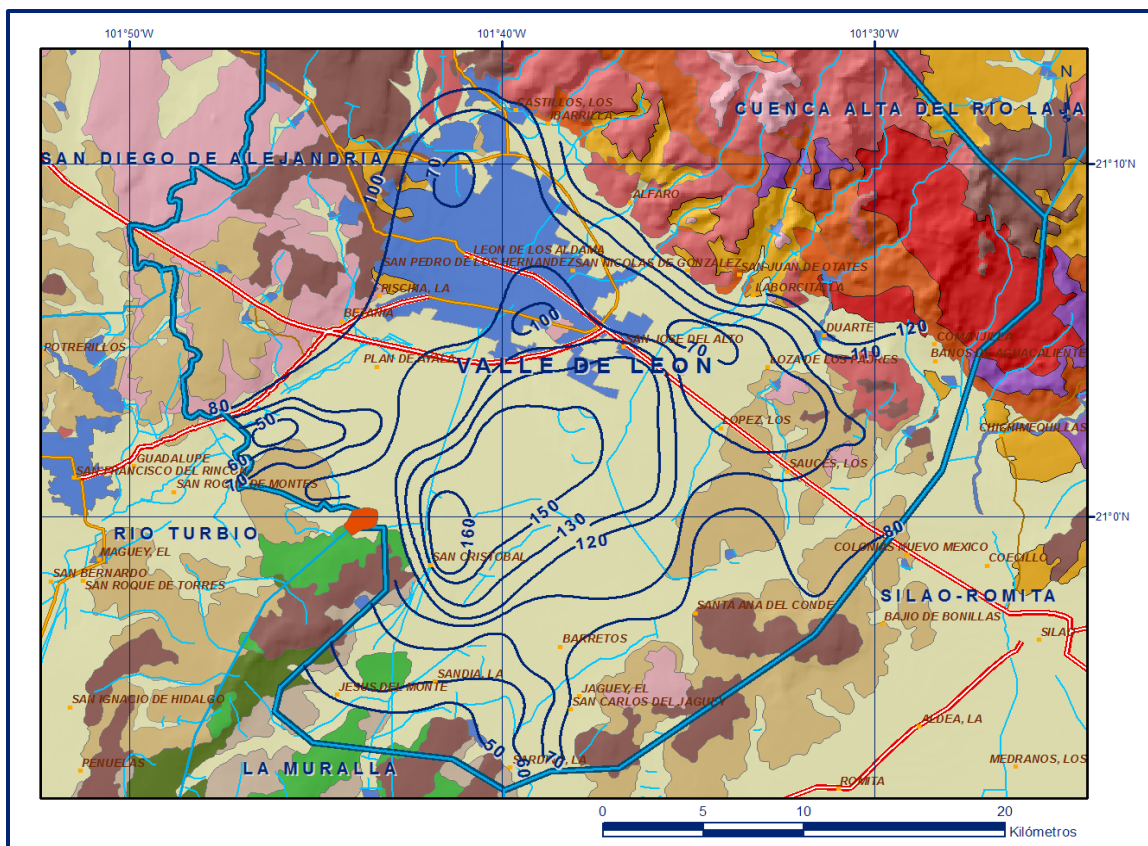


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2013)

5.4.2. Elevación del nivel estático

En el año 2013 la configuración de elevación del nivel estático presentó valores que variaron de 1,780 a 1,600 msnm, los cuales se incrementan al igual que los de profundidad, hacia las elevaciones topográficas que delimitan el valle, mostrando una dirección preferencial del flujo subterráneo concéntrica al centro del valle.

Los valores más altos se registran al norte de la ciudad de León, en las estribaciones de la Sierra de Guanajuato y los más bajos en la porción suroccidental del acuífero, en donde se observan dos extensos conos de abatimiento en la zona agrícola.

El primero se encuentra definido por la cota 1,600 msnm localizado entre las poblaciones San Cristóbal y San Pedro del Monte, y otro definido por la cota 1,705 msnm, hacia San Francisco del Rincón, que ha interceptado el flujo subterráneo que antes en condiciones naturales se dirigía hacia el acuífero vecino Río Turbio.

Entre San Pedro del Monte y el límite con el acuífero La Muralla, se presenta un parteaguas subterráneo que dirige el flujo hacia el este y oeste (figura 5).

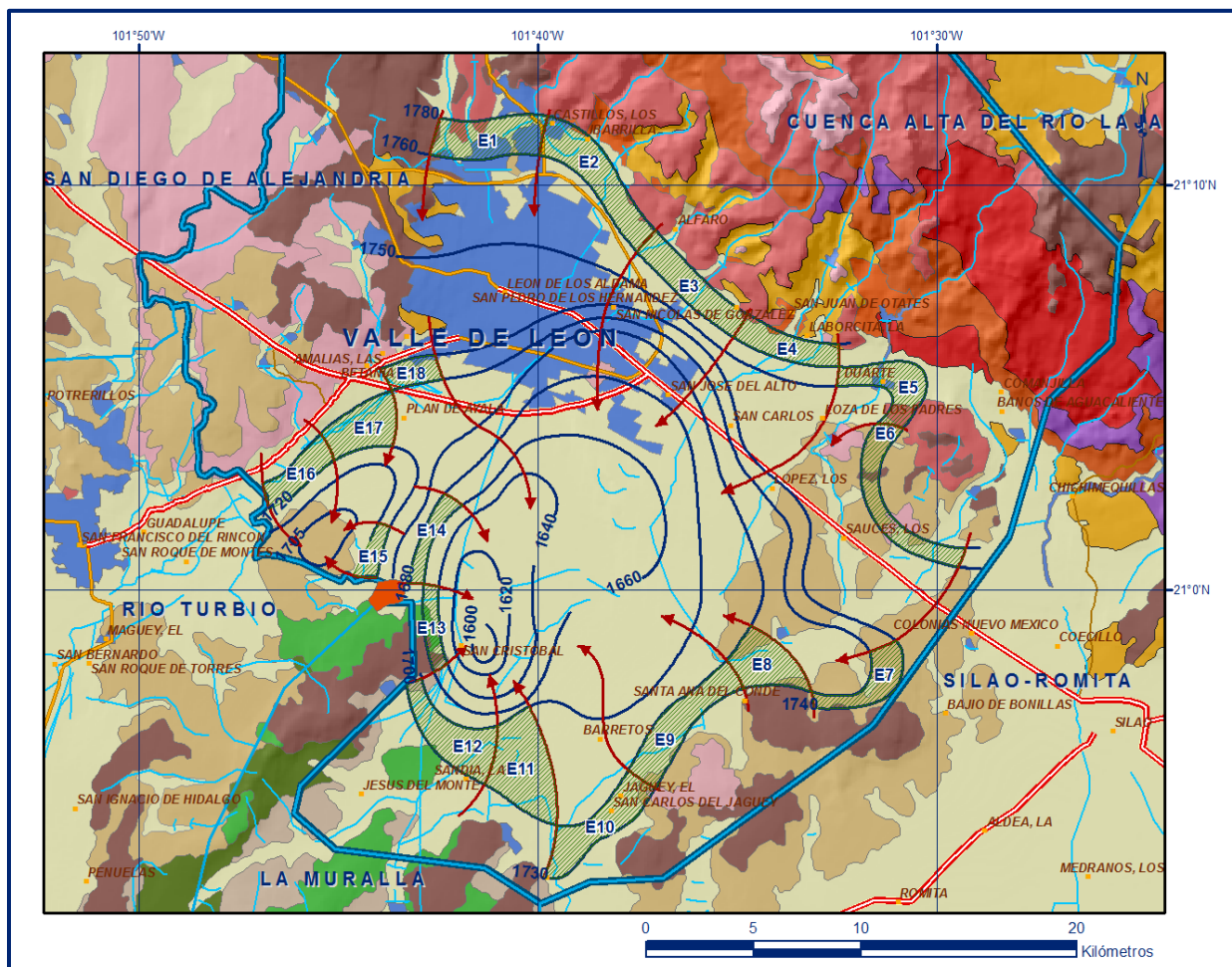


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2013)

5.4.3. Evolución del nivel estático

De acuerdo con la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2006-2013, se registran abatimientos para la mayor parte del área de explotación, que varían de 5 a 20.0 m, con valores puntuales de hasta 30 m, y un ritmo promedio anual de 1.5 a 2.0 m. Los mayores abatimientos, de 20 a 30 m, se registran en la zona agrícola ubicada en la toda la porción central del valle, en las inmediaciones de los poblados Plan de Ayala y San Cristóbal, así como al noroeste de Santa Ana del Conde. En la superficie restante de la zona de explotación intensiva, los abatimientos disminuyen gradualmente hasta desaparecer hacia las estribaciones de las elevaciones topográficas que delimitan el acuífero. En la zona urbana de la ciudad de León, el abatimiento promedio es de 4 m para el periodo analizado, que representa un ritmo anual de 0.6 m (figura 6).

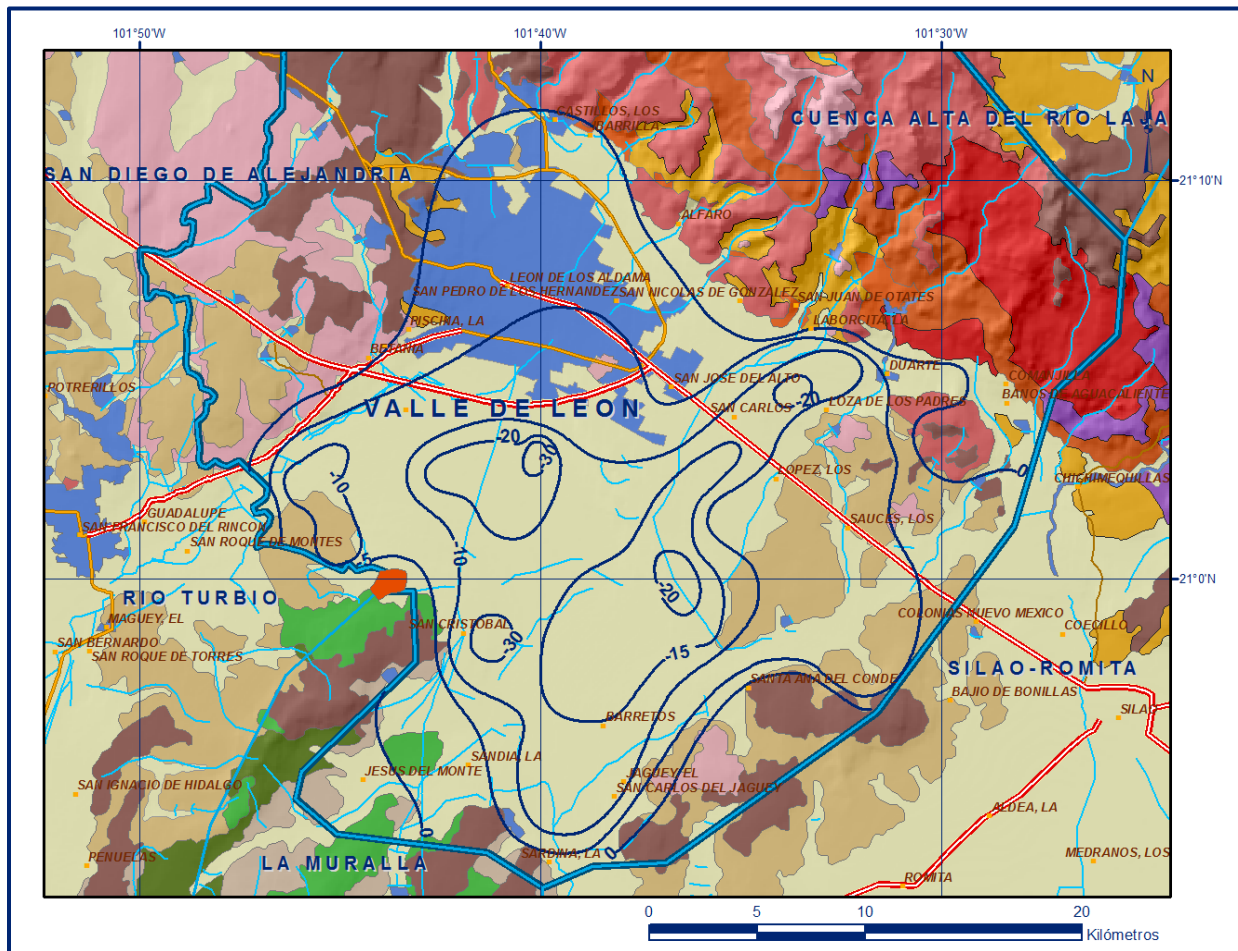


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2006-2013)

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2008, se tomaron 14 muestras de agua además de 27 muestras más del estudio realizado en 1996, para su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, iones principales, nitratos, dureza total y sólidos totales disueltos, metales pesados, fluoruros, nitratos, hierro, manganeso, arsénico coliformes fecales y coliformes totales, para identificar los procesos geoquímicos o de contaminación y comprender el modelo de funcionamiento hidrodinámico del acuífero. De manera general, las concentraciones de los diferentes iones y elementos no sobrepasan los límites máximos permisibles que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua”, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de mayo del 2022, excepto para los casos de sólidos totales disueltos (STD), cloro y sodio. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores extremos que varían de 294 a 2800 mg/l.

El estudio realizado en 1996 comprobó la presencia de cromo y otros metales pesados como cobalto, níquel, cadmio y uranio; en el suelo y agua subterránea, a profundidades someras menores de 50 m, que dependen directamente de los años de irrigación con aguas residuales que tienen las distintas zonas. Los valores de conductividad eléctrica variaron de 363 a 4,450 $\mu\text{S/cm}$, que la clasifican como agua dulce a salobre, de acuerdo con American Public and Health Association (APHA), 1995. Los valores de pH varían de 6.9 a 8.5 y de temperatura entre 26.2 y 37.8 °C.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que predominan dos familias del agua: magnésica-bicarbonatada y mixta-bicarbonatada que muestran mayor interacción y tiempo de residencia con las rocas a través de las cuales circula el agua subterránea. Se clasificó el agua para su uso en riego utilizando la clasificación de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS); la mayor parte de las muestras analizadas se clasifican como C_2-S_1 , que corresponde a salinidad media y bajo contenido de sodio intercambiable, y C_3-S_1 , que representa agua de alta salinidad con bajo contenido de sodio intercambiable; ambas clasificaciones se consideran aptas para el uso agrícola, en cultivos tolerantes a la salinidad y en suelos con buen drenaje.

El agua de los pozos más profundos se clasifica como C₁-S₁, que corresponde a baja salinidad y bajo contenido de sodio intercambiable que es apta para la agricultura sin ninguna restricción.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2008 (CEAG, 2016) se identificaron de 1416 captaciones del agua subterránea, todos ellos pozos, de los cuales 1037 son para uso agrícola, 229 para abastecimiento de agua potable, 95 para uso de servicios, 31 más para uso doméstico-pecuario y 15 de uso industrial. También se incluyen 9 piezómetros. Del total de pozos 1,034 se consideran activos y 371 inactivos por diferentes causas (sin operar, tapados, secos y negativos), 9 piezómetros y 2 más en construcción para esas fechas.

El volumen total de extracción estimado de **196.1 hm³/año**, de los cuales, 125.1 hm³/año (63.8%) son para uso agrícola, 64.1 hm³ (32.7%) es para uso público-urbano, 4.2 hm³ (2.1 %) para servicios, 1.9 hm³ (1.0%) para uso industrial y 0.8 hm³ (0.4%) uso doméstico-pecuario.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para año el periodo 2006-2013, que es el que presenta mayor cantidad de información, con la mejor distribución espacial; en una superficie aproximada de **590 km²** en la que están dispersos la gran mayoría de los aprovechamientos y en la que se cuenta con información piezométrica.

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1. Entradas

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

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

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga incidental (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 $\Delta V(S)$, así como las entradas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance.

$$Rv + Ri + Eh - B = \pm \Delta V(S) \quad (1)$$

Donde:

Rv = Recarga vertical;

Ri = Recarga incidental;

Eh = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

B = Bombeo;

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

$$Rv = B \pm \Delta V(S) - Eh - Ri \quad (2)$$

7.1.2. Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

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

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

Para el cálculo de las entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2013, mostrada en la figura 5. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” en cada uno de ellos, mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

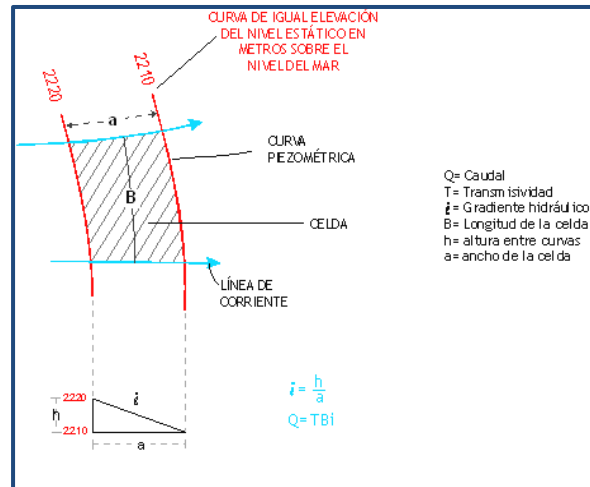
Donde:

B= Largo del canal de flujo;

i= Gradiente hidráulico (i);

T= Transmisividad en el canal de flujo;

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos.



En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y que el volumen total de entradas por flujo subterráneo asciende a **68.9 hm³/año**.

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

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	4900	1960	20	0.0102	0.0025	0.1250	3.9
E2	6665	1470	20	0.0136	0.0025	0.2267	7.1
E3	6080	1275	20	0.0157	0.0020	0.1907	6.0
E4	4705	880	20	0.0227	0.0020	0.2139	6.7
E5	5100	1570	10	0.0064	0.0017	0.0552	1.7
E6	8430	980	10	0.0102	0.0017	0.1462	4.6
E7	5490	1470	10	0.0068	0.0012	0.0448	1.4
E8	2590	2940	30	0.0102	0.0012	0.0317	1.0
E9	6370	1370	30	0.0219	0.0015	0.2092	6.6
E10	5490	1570	30	0.0191	0.0015	0.1574	5.0
E11	2745	4705	20	0.0043	0.0020	0.0233	0.7
E12	5685	1960	20	0.0102	0.0020	0.1160	3.7
E13	3725	785	20	0.0255	0.0030	0.2847	9.0
E14	4510	685	20	0.0292	0.0015	0.1975	6.2
E15	2745	785	10	0.0127	0.0015	0.0525	1.7
E16	3920	1175	10	0.0085	0.0015	0.0500	1.6
E17	3725	1960	10	0.0051	0.0015	0.0285	0.9
E18	2550	1175	10	0.0085	0.0015	0.0326	1.0
Total entradas							68.9

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron del promedio de las pruebas de bombeo llevadas como parte del estudio realizado en el año 2008 y otros previos, adaptados al espesor saturado de cada zona.

7.1.3. Recarga incidental (R_i)

Aún en sistemas de riego muy eficientes, un cierto volumen del agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, sino que se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación, dependiendo de la profundidad al nivel estático, de las características del suelo y de las condiciones climáticas.

Debido a la falta de información de superficies y láminas de riego por cultivo, se consideró un coeficiente de infiltración de 10 % debido a que la profundidad media a la que se localiza del agua subterránea en la zona agrícola varía de 50 a 120 m y a la permeabilidad media de los sedimentos del subsuelo. El volumen de agua que se destina al uso agrícola es de 125.1 hm³ anuales; si consideramos que el 10% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero como recarga efectiva, obtenemos un volumen de **12.5 hm³/año de los excedentes del riego.**

Por otra parte, el volumen anual de agua subterránea para uso **público-urbano** es de 64.1 hm³, tomando en cuenta que existe baja eficiencia en el sistema de la red de abastecimiento de agua potable y debido a que la profundidad al nivel del agua subterránea en la zona urbana de León es en promedio de 80 m, un 15 % de este volumen recarga de manera efectiva al acuífero a través de las fugas en la red de distribución de agua potable y en el sistema de alcantarillado; el volumen de recarga de este tipo es de **9.6 hm³ anuales**.

Por lo tanto, **Ri = 9.6 hm³ anuales**.

7.2. Salidas

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

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **196.1 hm³/año**.

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

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución del nivel estático 2006-2013 mostrada en la figura 6.

Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.10 se determinó la variación del almacenamiento en el área de balance de 590 km², mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

ΔVS = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

A = Área de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km²);

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

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

Como consecuencia de la explotación intensiva del recurso, la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciando una variación negativa del almacenamiento. Los valores obtenidos para cada variación piezométrica se pueden observar en la tabla 3.

El volumen anual del cambio de almacenamiento para este periodo es de -501.0 hm^3 , que representa un promedio anual de **$-71.6 \text{ hm}^3/\text{año}$**

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

Evolución (m)	Abatimiento medio (m)	Área (km ²)	Sy	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
-30	-30	4.2	0.1	-12.6
-20	-20	6.0	0.1	-12.0
-20 a -30	-25	18.4	0.1	-46.0
-15 a -20	-17.5	49.2	0.1	-86.1
-10	-10	10.9	0.1	-10.9
-10 a -20	-15	109.2	0.1	-163.8
-5 a -10	-7.5	168.1	0.1	-126.1
0 a -5	-2.5	175.0	0.1	-43.8
Área de balance		541.0	TOTAL	-501.2
Promedio anual				-71.6

Solución de la ecuación de balance

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

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

$$R_v = 196.1 - 71.6 - 68.9 - 9.6$$

$$R_v = 44.3 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_r$$

$$R = 33.5 + 68.9 + 22.1$$

$$R = 124.5 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como incidental.

Para este caso, su valor es de **124.5 hm³ anuales**, de los cuales 102.4 hm³ corresponden a la recarga natural y 22.1 hm³ a recarga incidental.

8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial. Estos están alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes; sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero.

Para el caso del acuífero Valle de León no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto, **DNC = 0.0 hm³/año**

8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **186,138,096 m³ 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 124.5 - 0.0 - 186.138096 \\ \text{DMA} &= -61.638096 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **61,638,096 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, 2002. Determinación de la Disponibilidad en el Acuífero Valle de León, estado de Guanajuato.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1982. Estudio Geohidrológico del Valle de León, en el estado de Guanajuato. Elaborado por Ariel Construcciones, S.A.