

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO LA MURALLA (1111), ESTADO DE
GUANAJUATO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1	GENERALIDADES.....	2
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
2	ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3	FISIOGRAFÍA.....	7
3.1	Provincias fisiográficas.....	7
3.2	Clima.....	8
3.3	Hidrografía.....	8
3.4	Geomorfología.....	9
4	GEOLOGÍA.....	10
4.1	Estratigrafía.....	11
4.2	Geología estructural.....	13
4.3	Geología del subsuelo.....	14
5	HIDROGEOLOGÍA.....	15
5.1	Tipo de acuífero.....	15
5.2	Parámetros hidráulicos.....	16
5.3	Piezometría.....	17
5.4	Comportamiento hidráulico.....	17
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	17
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	18
5.4.3	Evolución del nivel estático.....	19
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	20
6	CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	21
7	BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	21
7.1	Entradas.....	22
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	22
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	23
7.1.3	Retornos de riego (Rr).....	24
7.2	Salidas.....	24
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	25
7.2.2	Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh).....	25
7.3	Cambio de almacenamiento (ΔV_S).....	25
8	DISPONIBILIDAD	26
8.1	Recarga total media anual (R).....	27
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	27
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	27
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	28
9	BIBLIOGRAFÍA.....	29

1 GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”.

Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 Localización

El acuífero La Muralla, definido con la clave 1111 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción centro-occidental del estado de Guanajuato, entre los paralelos 20° 44' y 20° 59' de latitud norte, y los meridianos 101° 39' y 101° 49' de longitud oeste cubriendo una superficie aproximada de 241 km².

Limita al noreste con el acuífero Valle de León, al este con el acuífero Silao-Romita, al sur en una pequeña región con Pénjamo–Abasolo y al oeste con el acuífero Río Turbio, todos ellos pertenecientes al estado de Guanajuato (figura 1).

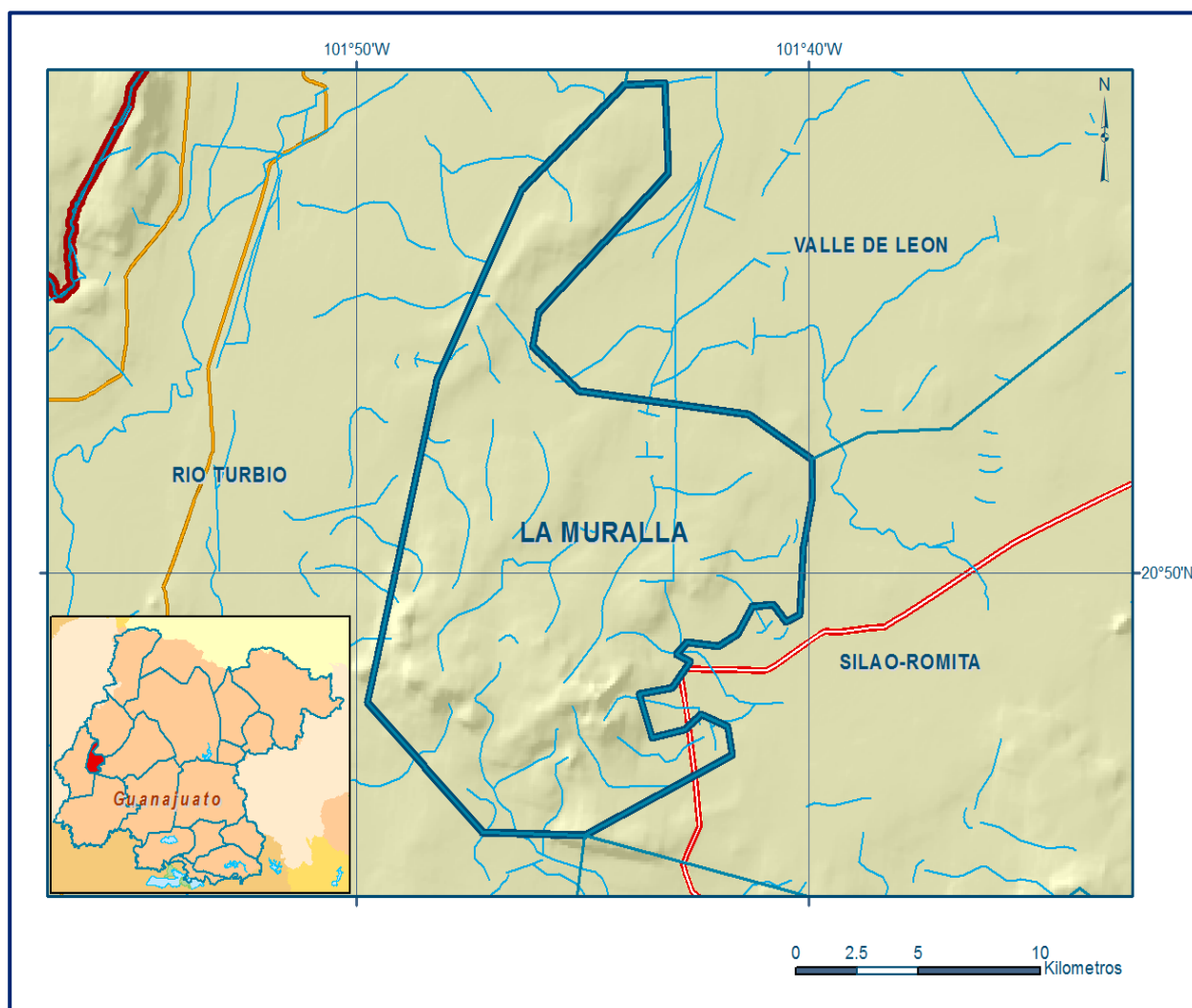


Figura 1. Localización del acuífero

Geopolíticamente la mayor parte de la porción norte del acuífero se encuentra en el municipio San Francisco del Rincón; la región sur y oriente pertenecen a los municipios Manuel Doblado y Romita, respectivamente y una muy pequeña porción al norte del acuífero se localiza en el municipio León.

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUÍFERO III LA MURALLA						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	101	44	57.6	20	44	49.0
2	101	47	12.9	20	44	52.1
3	101	49	45.7	20	47	26.3
4	101	48	14.1	20	53	49.7
5	101	46	20.7	20	57	35.0
6	101	44	4.4	20	59	40.2
7	101	43	10.9	20	59	41.7
8	101	43	7.1	20	57	55.1
9	101	45	57.6	20	55	10.8
10	101	46	6.9	20	54	29.0
11	101	45	4.9	20	53	36.3
12	101	41	20.2	20	53	8.4
13	101	39	56.8	20	52	15.3
14	101	39	55.4	20	51	30.3
15	101	40	8.0	20	50	31.4
16	101	40	12.2	20	49	10.1
17	101	40	30.5	20	49	1.7
18	101	40	47.3	20	49	22.7
19	101	41	15.3	20	49	19.9
20	101	41	35.0	20	48	47.7
21	101	42	0.2	20	48	33.6
22	101	42	42.3	20	48	37.8
23	101	42	56.3	20	48	23.8
24	101	42	38.0	20	48	15.4
25	101	43	1.9	20	47	43.2
26	101	43	45.6	20	47	36.1
27	101	43	29.0	20	46	44.3
28	101	42	45.5	20	46	54.5
29	101	42	22.6	20	47	12.6
30	101	41	48.3	20	46	58.2
31	101	41	42.6	20	46	23.9
1	101	44	57.6	20	44	49.0

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en Guanajuato.

Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de tres decretos de veda. La mayor parte de la región occidental del acuífero está regida por 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 las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

La porción noreste por el *Decreto que establece por tiempo indefinido veda para construcción o ampliación de las obras de alumbramiento de aguas del subsuelo que comprende la zona perimetral que ocupa el distrito de riego de León, Guanajuato, 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. Por último, la zona sureste por 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 mayo de 1957, esta veda se clasifica como tipo III, que permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.*

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El principal usuario del agua es el público-urbano. Dentro del acuífero se localiza la batería de pozos conocida como “La Muralla”, que suministra agua a la ciudad de León, con una extracción de 32.2hm³. No existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha un Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

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

SEGUIMIENTO AL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO MATEMÁTICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO TURBIO, GUANAJUATO. Elaborado por GESTIÓN DE ESTUDIOS, OBRAS Y PROYECTOS S.A. de C.V., para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) en 1997. Los objetivos planteados para este estudio fueron:

Ubicar las zonas naturales de recarga y descarga del acuífero; Proponer los límites del acuífero; Determinar las características hidráulicas del acuífero; Actualizar el balance hidrogeológico; Simular mediante el uso de un modelo matemático el comportamiento hidrogeológico del acuífero; Predecir su comportamiento a largo plazo en función del régimen de extracción anual (1, 5, 10, 20 y 30 años); Determinar los efectos del incremento de la extracción en función de su profundidad y caudal de operación de los pozos; así como recomendar las acciones necesarias para el adecuado control y seguimiento del comportamiento del acuífero, incluyendo reglamentación, reforestación, etc., es decir actividades que contribuyen al aumento de los volúmenes de recarga tanto naturales como artificiales.

Este estudio incluye localización de pozos, medición piezométrica, balance geohidrológico, geología y geofísica del área del Río Turbio, incluyendo la región occidental del acuífero La Muralla.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y MODELO MATEMATICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE LEÓN. Elaborado por Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V., para la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato(CEAG) en 1998. Entre sus objetivos más importantes destacan: Conocer la distribución espacial de las captaciones y su volumen de extracción; plantear un balance de agua subterránea; implementar un modelo de flujo subterráneo y predecir la posición de los niveles de agua subterránea para diferentes tiempos y regímenes de operación; proponer políticas y estrategias para administrar los recursos, obtener el mayor provecho posible del agua subterránea y regular su explotación. Este estudio incluye geología y descripción litológica de los tipos de rocas que existen en la zona, censo de aprovechamientos y pruebas de bombeo.

SINOPSIS DEL ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y MODELO MATEMATICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE LEÓN. Elaborado por Lesser y Asociados, S.A. de C.V., para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato(CEAG) en 1998. Los objetivos del estudio fueron: realizar la actualización del censo e hidrometría de las extracciones; plantear el balance del agua subterránea; construir un modelo de flujo subterráneo para predecir la posición de los niveles de agua subterránea ante diferentes escenarios de operación; así como proponer políticas y estrategias para administrar el recurso.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y MODELO MATEMATICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE SILAO-ROMITA, GTO.Elaborado por LESSER Y ASOCIADOS, S.A. DE C.V., para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) en 1998. Los principales objetivos de este trabajo fueron: realizar la actualización del censo e hidrometría de las extracciones; plantear el balance del agua subterránea y aplicar un modelo de flujo subterráneo para predecir la posición de los niveles de agua subterránea ante diferentes escenarios de operación; así como proponer políticas y estrategias para la administración y el manejo del acuífero.

ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN HIDROGEOLOGICA DEL ACUÍFERO LA MURALLA, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Elaborado por LESSER Y ASOCIADOS S.A. DE C.V., para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 2003.

El objetivo general de este estudio fue actualizar el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas del acuífero. Para ello se realizó el censo e hidrometría de las extracciones y se planteó el balance de aguas subterráneas para determinar la magnitud de la recarga.

Este estudio y la piezometría reciente aportada por la CEAG, fueron la base para el planteamiento del balance de aguas subterráneas 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 del INEGI (1989), la zona de La Muralla se encuentra en la Provincia Fisiográfica “Eje Neovolcánico” (subprovincia Bajío Guanajuatense), en la zona de transición con la provincia “Mesa Central” al norte, y al poniente, “La Sierra Madre Occidental”, representada por la subprovincia de “Los Altos de Jalisco”.

La provincia del Eje Neovolcánico se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, de composición andesítica y basáltica, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Cenozoico (hace unos 35 millones de años) hasta el presente. La integran grandes sierras volcánicas, grandes coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

También se presentan amplios valles intermontanos con elevación de 1700 a 1750 metros sobre el nivel del mar (msnm), que constituyen la región conocida como “El Bajío”; entre ellos destacan los valles de León, Río Turbio y Silao-Romita.

La subprovincia del Bajío Guanajuatense es una gran llanura, interrumpida por algunas sierras volcánicas de poca elevación.

Los sistemas de topoformas que se encuentran en esta zona son: llanuras de aluviones profundos, llanuras con tepetate, sierras de cumbres escarpadas, sierras de laderas tendidas, mesetas con lomeríos y lomeríos aislados.

Altas y extensas mesetas, con elevaciones medias de 2000 msnm, se levantan hacia el norte y el poniente del área.

Se encuentran integradas por rocas volcánicas del tipo riolítico, que forman los valles altos del norte del estado de Guanajuato y la región de Los Altos, en el vecino estado de Jalisco, que caracteriza a la provincia de “La Meseta Central”, en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental; ésta última es un gran sistema montañoso constituido por rocas volcánicas con espesores de hasta 1800 m, afectada por numerosas fallas normales, a nivel regional. En la región de Los Altos, se caracteriza por la presencia de sierras altas y alargadas que se manifiestan en forma de mesetas, alternando con pequeños valles alineados en una dirección preferencial norte-sur, que fueron originalmente profundas depresiones o cuencas lacustres.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García en 1964, para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predomina templado, con lluvias en verano e invierno seco. La temperatura del mes más cálido es superior a 22° C y es anterior al solsticio de verano.

Para la determinación de las variables climatológicas, se cuenta con la información de 7 estaciones climatológicas, de las cuales una se localiza dentro del territorio cubierto por el acuífero “El Huizache” y las otras seis en los acuíferos vecinos: “Comanjilla”, “Silao”, “San Francisco de Durán”, “Presa La Gavia”, “Romita” y “La Sandia”, cuyo registro comprende un periodo de 1962 a 2010. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen se determinaron valores de temperatura y precipitación media anual de **20.0 °C y 631 mm**, respectivamente. De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,990.6 mm anuales**.

El régimen de lluvias cubre el período de mayo a octubre, concentrándose principalmente entre junio y septiembre. La máxima ocurrencia se registra en el mes de agosto. La época de estiaje ocurre entre los meses de noviembre y abril.

3.3 Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago, la mayor parte en la Cuenca del Río Lerma y una porción pequeña en la cuenca del Río Turbio. La Cuenca Río Lerma está comprendida desde la presa Melchor Ocampo y las estaciones hidrométricas Salamanca y Las Adjuntas hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Corrales. En esta cuenca, el Río Lerma tiene como tributarios más importantes por su margen derecha a los ríos Guanajuato, Silao y Turbio; por su margen izquierda el arroyo Cofradía y Río Angulo.

La Cuenca Río Turbio abarca desde su origen en el cerro de San Juan hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Las Adjuntas. Inicia con dirección suroeste y atraviesa la ciudad de León, Guanajuato. Hasta las inmediaciones del poblado de Manuel Doblado, cambia de dirección hacia el Este. En su trayecto hasta donde se localiza la Estación Hidrométrica Las Adjuntas, recibe varias corrientes tributarias sin nombre por ambos márgenes.

3.4 Geomorfología

El acuífero se localiza en una región cuyo relieve define rasgos geomorfológicos diversos, la mayor parte de origen volcánico y de procedencia fluvial y aluvial.

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

También se tiene un relieve volcánico acumulativo relativamente joven (plio-cuaternario) que no presenta efectos importantes de los procesos exógenos. Los ejemplos más evidentes son los derrames y mesas de lavas del sur de Santiago Maravatío, que presentan escasa densidad y profundidad de la disección del terreno y pendientes de $\sim 10^\circ$.

En cuanto a los derrames y productos piroclásticos que representan a la Sierra de los Agustinos, se trata de un relieve volcánico-denudatorio con mayor densidad y profundidad de disección.

En cuanto a procesos exógenos, cuyo agente más importante es el agua en sus diferentes manifestaciones (precipitación, escurrimiento y subterránea), es el relieve de tipo acumulativo que se presenta en el valle de Salvatierra con una altitud de 1,740 a 1,800 msnm, donde se han depositado materiales fluviales de granulometría fina como son arenas, limos y arcillas, además de piroclastos. Esta planicie debe su origen a la tectónica plio-cuaternaria responsable del vulcanismo del Cinturón Volcánico Mexicano. También se presentan abanicos aluviales cuaternarios, constituidos por material sedimentario que se presenta al pie de las estructuras montañosas en contacto con la planicie de nivel de base.

En la porción nororiental, en dirección del valle de Silao-Romita, se presenta una superficie semiplana con pendientes suaves de 2 a 3 grados, constituida principalmente por material aluvial del Reciente (limos-arcillas), de las que sobresalen cerros, lomeríos y mesetas. La zona donde se encuentra concentrada la batería “La Muralla”, muestra una expresión superficial ondulada, con lomeríos de pendientes suaves, característica de materiales sedimentarios. Otro rasgo característico, hacia el sur, es la presencia de la sierra “El Huizache”, que representa un alto estructural que sobrepasa los 2,500 msnm, orientada en dirección NW-SE, que alternan con valles estrechos y alargados, con terrazas y lomeríos producto de la erosión de sus antiguos fondos.

4 GEOLOGÍA

La región se caracteriza por presentar numerosos aparatos volcánicos de estructuras diversas (conos, maars, derrames, etc.) que en general conservan su estructura original (figura 2).

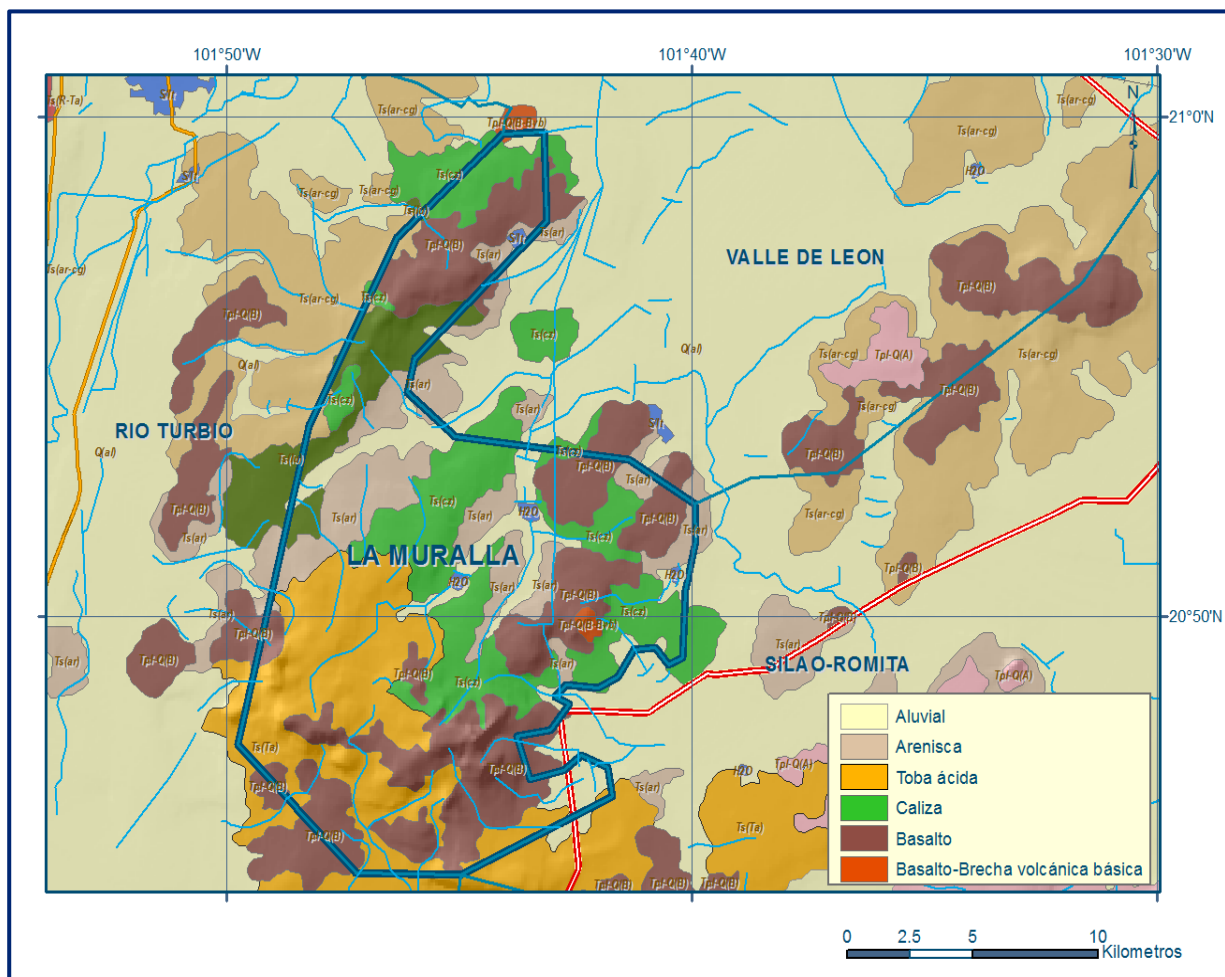


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la superficie cubierta por el acuífero afloran rocas sedimentarias e ígneas, cuyo registro estratigráfico comprende desde finales del Cretácico hasta el Reciente. Las rocas que afloran en esta porción de El Bajío se agrupan en cuatro unidades estratigráficas bien definidas.

Asimismo, se reconoce que existen otras unidades litológicas que no afloran, pero se infiere su presencia en el subsuelo, según información geológica superficial y del subsuelo de localidades cercanas. A continuación, se presenta la descripción de cada una de ellas, de la más antigua a la más reciente.

Las más antiguas son las andesitas que se localizan en la falda oriental del cerro “El Burro”, cerca del poblado La Gloria, así como en la parte sur de la batería de La Muralla, con un espesor máximo de 150 m.

Conglomerado Guanajuato (Tcg). Son característicos de la región y se consideran el basamento hidrogeológico de la región. Consiste de un conglomerado rojo de estratificación generalmente masiva (facies conglomerática) o mediana (facies arenosa), que aflora en la ciudad de Guanajuato y sus alrededores. Sus clastos son pocos redondeados y muy variados, tanto en tamaño como en composición, desde centímetros hasta varios metros, y de naturaleza sedimentaria, ígnea o metamórfica; su matriz es arenosa y cementada por óxidos y carbonatos. Presenta intercalaciones de derrames volcánicos de naturaleza andesítica, cuyo espesor puede alcanzar varias centenas de metros. Su edad ha sido asignada al Eoceno-Oligoceno, con base en los fósiles vertebrados que contiene. A profundidad son cortados por los pozos de la batería de “La Muralla”.

Ignimbrita Cuatralba (Ticu). En esta unidad están agrupadas todas las rocas de naturaleza piroclástica que cubren grandes extensiones de la Sierra de Guanajuato. Se trata de rocas de composición riolítica, dispuestas en gruesos paquetes, horizontales, de tobas soldada, consolidada de color rosáceo, y horizontales de toba poco soldada, de color blanquecino. Su posición cronológica podría ubicarse en el Neógeno, debido a que sus facies yacen encima y debajo, simultáneamente, de rocas de edad pliocénica. Afloran en las zonas topográficamente más altas y en subsuelo conforman una unidad acuífera que es cortada por los pozos de la batería “La Muralla”. Su espesor promedio de 150 m, intercalada con arcillas de 10 m de espesor, aproximado.

Diversas unidades riolíticas con características semejantes afloran en el área de estudio, constituyendo la roca predominante tanto en los afloramientos como en el subsuelo.

Cenozoico Sedimentario (Ts). Incluye calizas lacustres, lutitas además de tobas y conglomerados. Forma las elevaciones topográficas de la mitad norte del área comprendida por el acuífero La Muralla. De acuerdo a su litología, funciona como unidad semipermeable. Se presenta en el área del acuífero como calizas arcillosas y margas bien estratificadas en forma horizontal, cubriendo las rocas riolíticas; y hacia su base contiene intercalaciones de gravas, arenas y conglomerados calcáreos, captadas por las perforaciones de La Muralla a los 150 m de profundidad, y con espesor medio de 212 m. Su edad es Neógeno Superior.

Depósitos lacustres, de arenas finas y de arcillas interdigitados con boleos, gravas y gravillas se encuentran sobre o intercalados con las calizas lacustres, rellenando los valles de toda la región y, en ocasiones, formando lomeríos.

Basaltos Cubilete (Qbcu). Aparecen en afloramientos pequeños esparcidos a lo largo de la Sierra de Guanajuato, conformando algunos de puntos más altos (cerros “El Cubilete” y “El Gigante”).

Se trata de basaltos de olivino y andesitas, estas últimas con estructura traquítica. Su edad es cuaternaria y constituyen las últimas manifestaciones volcánicas de la región. Dentro del acuífero, se presenta en forma de lomeríos constituidos por derrames de basaltos y rocas asociadas, como tobas y brechas volcánicas. Funcionan como zona de recarga.

Eventualmente descansan sobre riolitas en forma de derrames y conos volcánicos, occidente de Tultitlán; mientras que los afloramientos de brechas volcánicas se exponen en cortes sobre la carretera hacia Cuerámara; su espesor medio es de 100 m.

Aluvión Cuaternario (Qal). Representado por material aluvial de poca extensión y escaso espesor, no mayor de 10 m. Está formado principalmente por arenas y gravas producto de la erosión de las áreas topográficas altas, cuyos detritos se han acumulado sobre las porciones bajas que constituyen los valles. Presentan buena permeabilidad, permitiendo la infiltración y circulación de agua en el subsuelo, excepto en algunas zonas del oriente donde predomina el material arcilloso.

4.2 Geología estructural

Entre los rasgos estructurales más importantes destaca la existencia de gran cantidad de fracturas y fallas asociadas al vulcanismo del Cenozoico que dieron lugar a la formación de fosas y pilares tectónicos, relacionados con eventos de distensión que son característicos en esta provincia geológica.

Por debajo de la cubierta volcánica cenozoica se presentan rocas mesozoicas deformadas por esfuerzos compresivos orogénicos, como lo demuestran los afloramientos de rocas en otras localidades cercanas a esta región.

La Orogenia Laramide ocurre durante el Cretácico Tardío y el Paleoceno Temprano, la cual produjo el desarrollo de amplios pliegues horizontales en dirección E-W y una incipiente esquistosidad.

Los efectos de esta orogenia son observables en afloramientos de rocas sedimentarias mesozoicas al sureste de San Miguel de Allende, en la Sierra de Pozos y al noreste de Doctor Mora, entre otros lugares más de la Sierra de Guanajuato.

La deformación cenozoica, presenta un régimen tectónico compresivo que prevalece durante el Mesozoico, se transforma a principios del Cenozoico en un régimen de distensión, que dio origen a una provincia tectónica de gran extensión que abarca desde el suroeste de Canadá hasta el centro de México. Su origen se ha atribuido a diferentes mecanismos de carácter tectónico global. Estos efectos no han sido continuos, sino pulsos o eventos magmáticos de diferente intensidad, provocando diferencias en la densidad, orientación y extensión de las fallas normales y de las fracturas.

Algunos estudios realizados en esta provincia, relativamente cercanos al área del acuífero, se refieren a la existencia de varios eventos en diferentes épocas geológicas.

Los arreglos de los sistemas de fracturas presentan orientaciones diferentes, pero principalmente de rumbos: NE-SW, SSE-NNW y N-S. Estos arreglos pueden relacionarse al relajamiento de los esfuerzos producidos posteriormente a los eventos compresivos que han actuado en la región. El conjunto de estos arreglos estructurales que datan del Paleógeno-Neógeno y los producidos en el Cuaternario, han desplazado el subsuelo en forma de bloques debido a una tectónica asociada a la formación del Cinturón Volcánico Mexicano.

El área ha sido afectada por sistemas de fallas normales de edades distintas, que han dado lugar a fosas tectónicas que alojan sedimentos aluviales y rocas volcánicas. Estas fallas siguen, en términos generales, dos arreglos: uno con orientación ENE-WSW, y otro que presenta direcciones SSE-NNE. El primer sistema se asocia al "Sistema de Fallas de la Faja Volcánica Transmexicana" cuya edad se infiere del Mioceno. El otro se relaciona con el "Sistema de Fallamiento Normal de la Región Centro-Occidental de México", sistema que se considera activo. No obstante, lo anterior, se considera que este segundo sistema actuó en la zona a fines del Neógeno y principios del Cuaternario.

Del primer arreglo estructural se deduce la formación de las fosas tectónicas de la región, cuya geometría es fundamental para definir la posición del basamento hidrogeológico del sistema.

Es importante destacar, por un lado, que no se descarta la existencia de fallas sepultadas bajo la cubierta de sedimentos recientes, donde variaciones en la topografía evidencian su presencia y actividad con el hundimiento de las fosas tectónicas al mismo tiempo que ocurre su relleno; y por otro lado, la existencia de fallas de menor extensión, paralelas a las fallas principales que demuestran nuevamente, que diferentes períodos de actividad han dado origen al desarrollo de bloques inclinados de manera escalonada o de tipo "dominó".

4.3 Geología del subsuelo

Existe un sistema complejo de fallas y fracturas, lo que ha generado un escalonamiento de bloques que corresponden a fosas y pilares tectónicos, sepultados a diferentes profundidades, con la consecuente variación en los espesores de sedimentos de granulometría diversa. De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos fluviales que constituyen los cauces de los arroyos, así como en las areniscas; en su porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas de diferente composición, principalmente riolítica y basáltica, intercaladas con productos piroclásticos y lentes de sedimentos lacustres. Los depósitos aluviales se explotan localmente mediante norias que sólo satisfacen las necesidades del uso doméstico, en tanto que los pozos profundos de la batería "La Muralla" captan la unidad inferior, que en su origen se encontraba confinada por la secuencia de calizas arcillosas y margas.

El basamento del acuífero está conformado por las mismas rocas riolíticas cuando a profundidad desaparece su permeabilidad secundaria por fracturamiento; a nivel regional el basamento hidrogeológico está representado el conglomerado rojo de Guanajuato.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

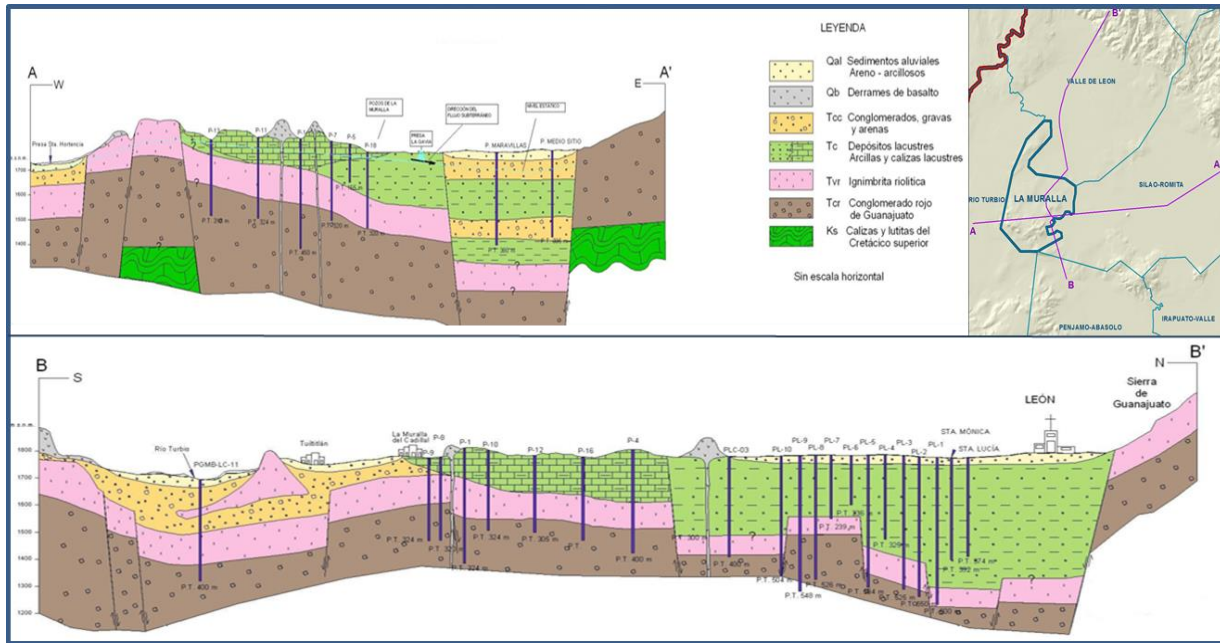
Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten establecer la presencia de un acuífero tipo libre a semiconfinado, heterogéneo y anisótropo, que originalmente estaba confinado por la presencia de calizas arcillosas y margas. Está constituido por materiales aluviales de granulometría variada, arenisca y rocas volcánicas fracturadas, intercalados con productos piroclásticos y sedimentos arcillosos. Aunque localmente se explotan los depósitos aluviales mediante norias, la unidad que abastece a los pozos de la batería “La Muralla” está constituida por rocas principalmente riolíticas y en menor proporción basálticas, cuyo espesor promedio es de 120 m, según lo revelan los cortes litológicos.

Su permeabilidad es variable de acuerdo a la litología y fracturamiento de las rocas. Las mismas rocas que conforman el acuífero a profundidad, conforman su área de recarga en superficie. De los resultados obtenidos se concluye que el sistema-acuífero La Muralla es un sistema **semiconfinado** conformado por ignimbritas fracturadas que presentan capacidad transmisora variable, debido a su anisotropía por fracturamiento, además que algunos pozos no son totalmente penetrantes.

Con base en la secuencia estratigráfica definida por los cortes litológicos de estos pozos es posible definir la presencia de un sistema de fosas y pilares tectónicos. La fosa en la que se encuentran alojados estos pozos disminuye su profundidad hacia los extremos NW y SE, controlada por la paleogeografía que produjo el escalonamiento pre-pleistocénico.

La secuencia estratigráfica y la compleja estructura geológica definida sugieren que el sistema-acuífero La Muralla forma parte de un sistema de flujo regional, cuyo origen y extensión en el subsuelo va más allá de sus límites definidos. Por esta razón, la secuencia de ignimbritas y tobas riolíticas pueden funcionar tanto como fuente de recarga como de descarga, drenando el sistema en sus niveles más profundos hacia áreas adyacentes. Sin embargo, con la información del subsuelo hasta ahora disponible no es posible establecer la continuidad estructural de estas rocas.

En la siguiente figura se muestran algunas secciones geológicas, orientadas en sentido W-E y N-S, que presentan de manera gráfica el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero, construidas con información de los cortes litológicos de los pozos de agua potable de la batería “La Muralla” y otros localizados en acuíferos, que opera el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL).



Fuente: CONAGUA-SGT-GAS, (2001)

Figura 3. Secciones geológicas esquemáticas

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades de estudio realizado en el año 2003 se ejecutaron 6 pruebas de bombeo de larga duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación, así como la reinterpretación de 5 aforos en pozos que son operados por SAPAL.

De los resultados de su interpretación, se establece que los valores de transmisividad varían de **0.08 a $70.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** . Los valores más bajos se asocian a sedimentos de granulometría fina, en tanto que los valores mayores corresponden a sedimentos de mayor tamaño asociados al cauce del río o a rocas volcánicas con mayor grado de fracturamiento.

Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación por lo que no se pudo estimar el coeficiente de almacenamiento. La información es escasa y los valores obtenidos de pruebas de bombeo, cuya duración fue de horas o algunos días, no son representativos del comportamiento del sistema acuífero.

Sin embargo, su valor no debe ser grande ya que se trata de un sistema de baja capacidad de almacenamiento, ocasionada por su condición natural de semiconfinamiento, y baja porosidad efectiva.

En algunas áreas del acuífero la superficie piezométrica se localiza por arriba de la base del acuitardo de tal manera que durante la operación de los pozos el sistema se puede convertir en libre y el coeficiente de almacenamiento adoptar valores de esta nueva condición. El rendimiento específico de las rocas riolíticas está asociado con las fracturas, ya que su porosidad primaria es baja; por lo tanto, su valor oscila entre 0.05 y 0.15.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, existe información para los años 1991, 1999, 2003, 2008 y 2009.

Debido a que para los dos últimos años se cuenta con mayor apoyo piezométrico y con el objetivo de evaluar una condición actual del acuífero, para fines del balance de aguas subterráneas se consideró el periodo 2008-2009.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo a la configuración de profundidad al nivel estático para el 2009, mostrada en la figura 4, se observa que se presentan valores que varían de 60 a 150 m, conforme se asciende topográficamente hacia las estribaciones de las sierras que rodean los pequeños valles.

Los valores más profundos, de 115 a 150 m, de registran en la porción central del acuífero, en las inmediaciones de las localidades de El Sauz de Armenta, San Isidro, La Soledad, Loma del Macho y en la región norte, hacia las localidades de California, San José de La Calera y oeste hacia Nuevo Jesús del Monte; en tanto que los más someros, de 60 a 90 m, se ubican hacia las localidades de Jesús del Monte, Estancia de la Sandía, Piedras Negras, Los Salados y Tangamanga, así como los pozos ubicados al oeste de San José de Solís, en la porción sureste del acuífero.

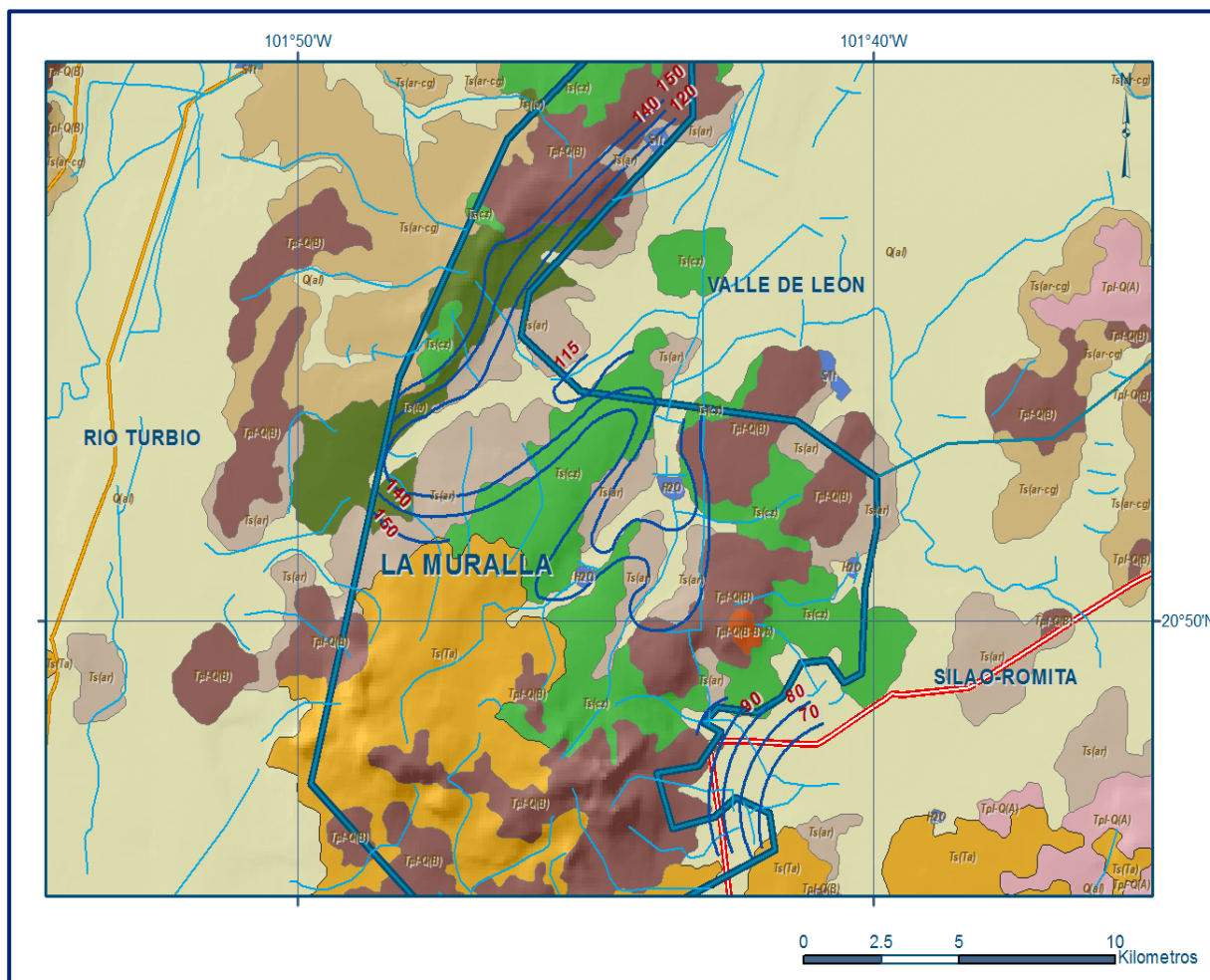


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de la elevación del nivel estático, mostrada en la figura 5, se puede observar que los valores, al igual que los de profundidad, muestran el efecto de la topografía, desde los 1,660 y 1,670 msnm que se registran en la porción noroeste y suroriental del acuífero, respectivamente, hasta los 1,710 msnm que se presentan en el poblado San Isidro, indicando de esta manera una dirección de flujo subterráneo preferencial de sur a norte.

En el extremo suroriental del acuífero se muestra un flujo subterráneo hacia el acuífero vecino Silao-Romita, de la elevación de 1,690 a 1,670 msnm.

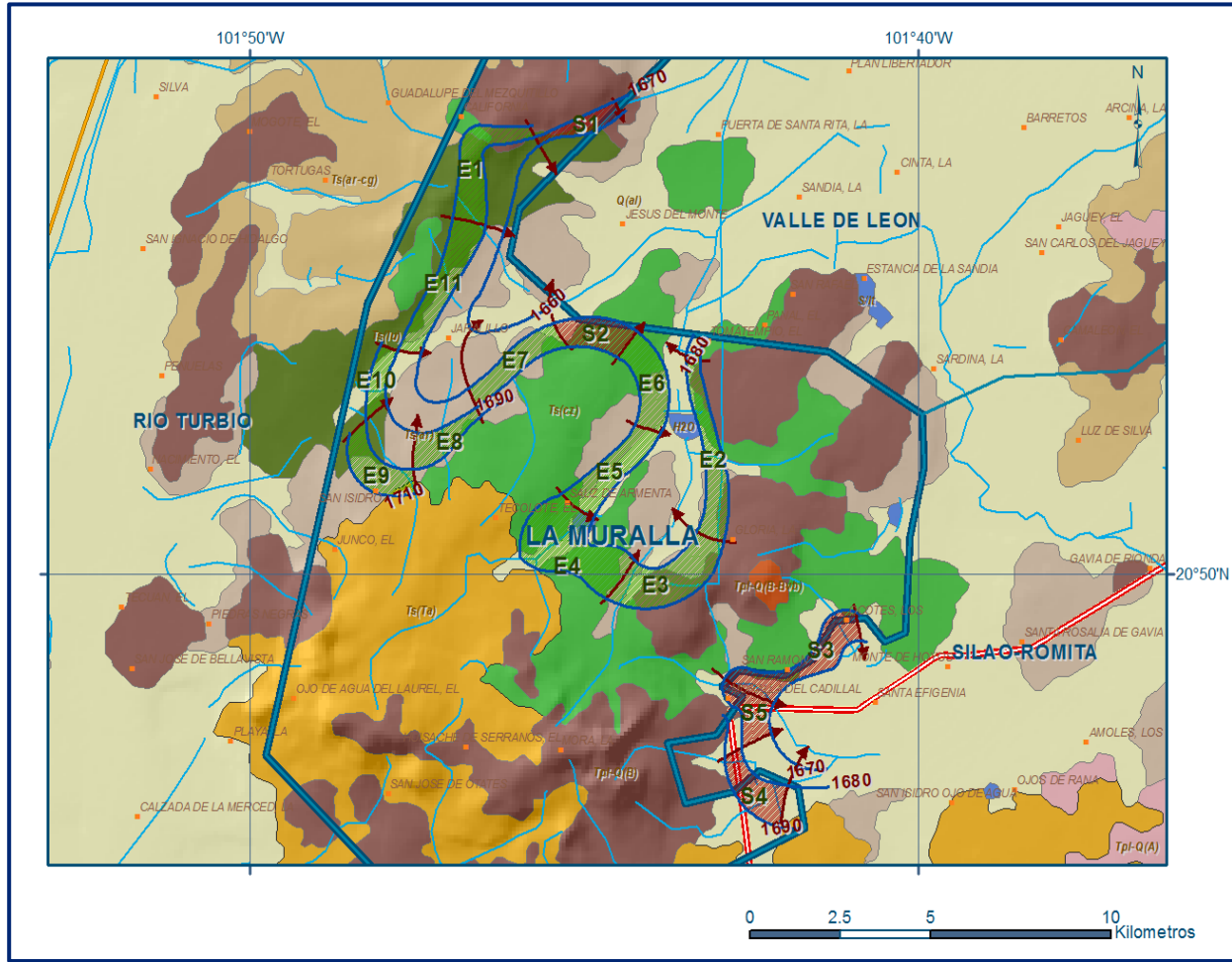
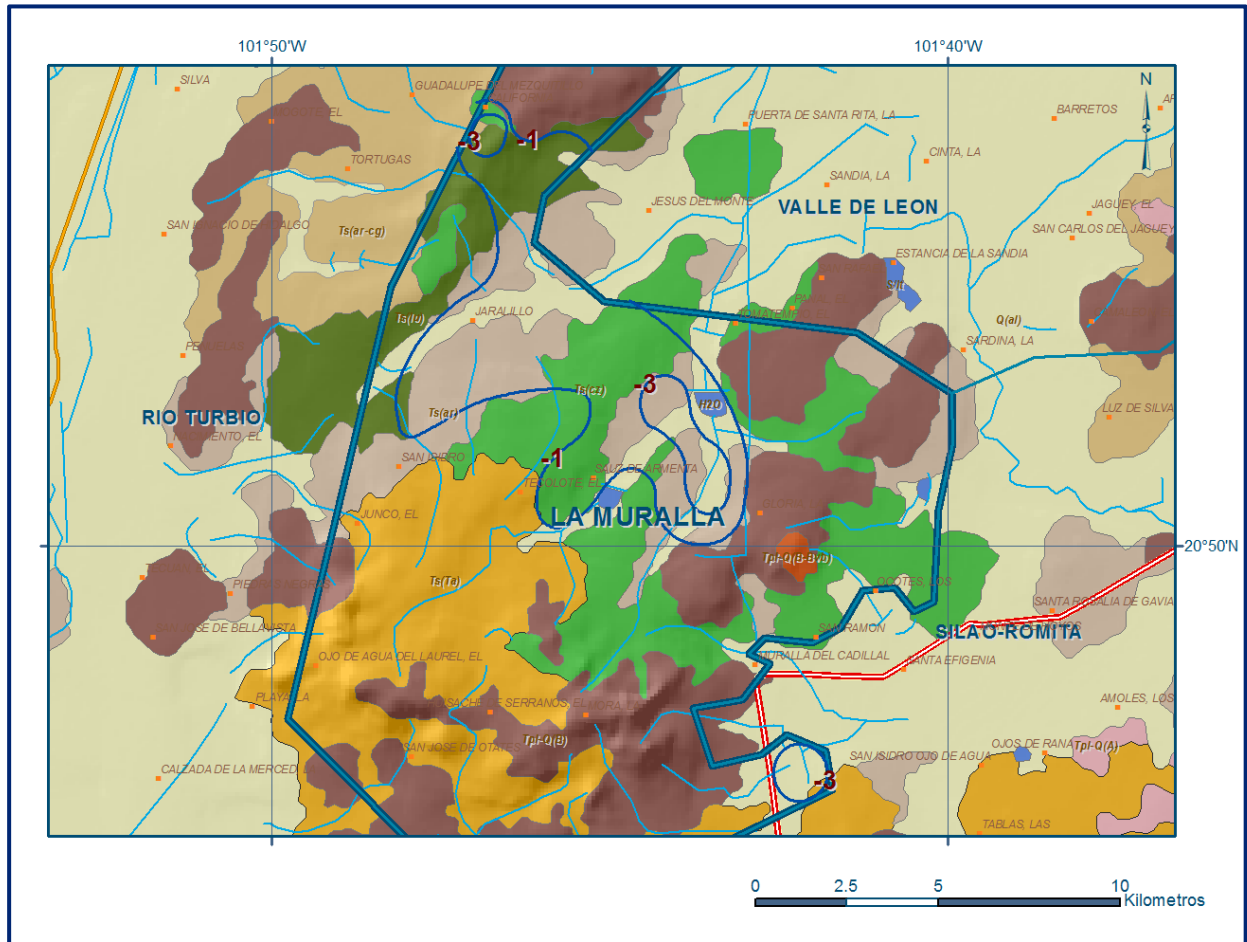


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3 Evolución del nivel estático

De acuerdo con la configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2008-2009, que se presenta en la figura 6, los abatimientos promedio anuales varían de 1 a 3 m; los mayores abatimientos se ubican en las regiones centro y norte del acuífero y están relacionados con los pozos de la batería “La Muralla”, que abastecen de agua potable a la ciudad de León.



La familia de agua predominante es la bicarbonatada cálcica, lo que indica que es de reciente infiltración y que ha circulado a través de rocas volcánicas y calcáreas disolviendo principalmente los feldespatos cálcicos y el carbonato de calcio que constituyen estas rocas, respectivamente.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2003, existe un total de 127 pozos, de los cuales 53 se ubican fuera del área del acuífero y 74 dentro, de estos 61 se encuentran activos y 13 inactivos. Del total de 74 aprovechamientos, 20 (27.0 %) se destinan a uso agrícola, 1 (1.4 %) al uso pecuario, 34 (45.9 %) para uso público-urbano y 19 (25.7 %) para otros usos.

La extracción total estimada es de **36.4 hm³/año**, de los cuales 28.2 hm³ (77.5 %) se destinan al uso público-urbano y 8.2 hm³ (22.5%) para uso agrícola.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2008-2009, en una superficie aproximada de **111 km²** de la zona en la que están dispersos 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.

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 de una unidad hidrogeológica:

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita en los sedimentos que conforman los pequeños valles y a lo largo de los escurrimientos (R_v) y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (E_h). De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otras fuentes de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (R_i). Debido a que el agua destinada al abastecimiento de la ciudad de León se conduce mediante un acueducto, únicamente se consideran los excedentes por el riego agrícola (R_r).

7.1.1 Recarga vertical (R_v)

Los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

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

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

Donde:

R_v = Recarga vertical;

R_r = Retornos de riego;

E_h = Entradas por flujo subterráneo horizontal;

B = Bombeo;

Sh = Salidas por flujo subterráneo horizontal;

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

De esta manera, despejando la recarga vertical, se obtiene la siguiente ecuación:

$$R_v = B + Sh \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La recarga del acuífero tiene su origen en la precipitación pluvial sobre las zonas topográficamente más altas del área que comprende el acuífero y por la infiltración de los escurrimientos superficiales.

El agua se infiltra por las fracturas de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación.

Para su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2009, 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:

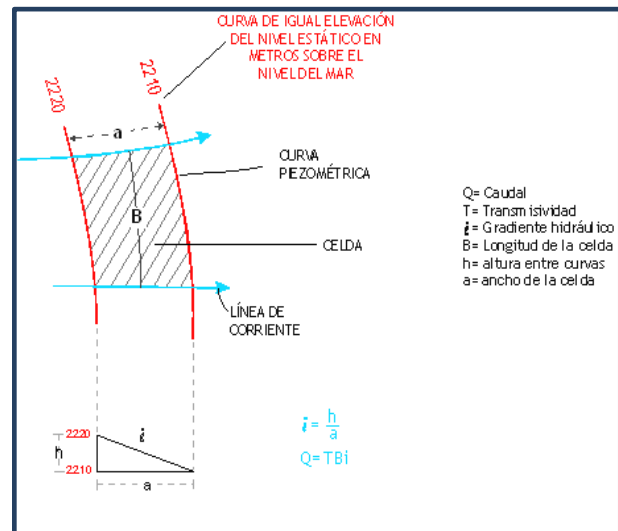
$$Q = B * i * T$$

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 **21.1 hm³/año**.

Los valores de T utilizados para el cálculo de entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas, adaptadas al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2009)

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	4400	665	10	0.01504	0.0010	0.0662	2.1
E2	4665	665	10	0.01504	0.0010	0.0702	2.2
E3	3330	930	10	0.01075	0.0010	0.0358	1.1
E4	3600	1065	10	0.00939	0.0015	0.0507	1.6
E5	2935	800	10	0.01250	0.0015	0.0550	1.7
E6	2800	665	10	0.01504	0.0010	0.0421	1.3
E7	2935	800	10	0.01250	0.0015	0.0550	1.7
E8	2265	465	10	0.02151	0.0015	0.0731	2.3
E9	2800	930	20	0.02151	0.0015	0.0903	2.9
E10	2665	400	10	0.02500	0.0010	0.0666	2.1
E11	3330	535	10	0.01869	0.0010	0.0622	2.0
TOTAL							21.1

7.1.3 Retornos de riego (Rr)

En esta variable se incluyen los volúmenes de infiltración de agua que se producen exclusivamente por concepto de los excedentes del riego ya que en la región no existen asentamientos humanos importantes cuya infraestructura hidráulica pueda generar fugas en los sistemas de abastecimiento de agua potable y/o de alcantarillado y el agua potable de los pozos de la Batería “La Muralla” se conduce a la ciudad de León mediante un acueducto.

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

Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación. Para este caso particular, no se tiene información de superficies y láminas de riego por cultivo; sin embargo, debido a la profundidad a la que se localiza el nivel del agua en la zona agrícola y la presencia de materiales de granulometría fina, se considera que sólo el 10% del volumen utilizado en la agricultura (8.2 hm³ anuales) recarga de manera efectiva al acuífero.

De esta manera; el volumen asciende a **Rr = 0.8 hm³**.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y salidas por flujo subterráneo; no existen descargas naturales por evapotranspiración ni flujo base.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **36.4 hm³/año**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático presentada en la figura 5, su cálculo se muestra en la tabla 3

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2009)

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)
S1	2135	535	10	0.01869	0.0010	0.0399	1.3
S2	1600	800	10	0.01250	0.0010	0.0200	0.6
S3	3335	935	10	0.01070	0.0012	0.0428	1.3
S4	2265	935	10	0.01070	0.0015	0.0363	1.1
S5	1465	1200	10	0.00833	0.0015	0.0183	0.6
TOTAL							5.0

El volumen total de salidas por flujo subterráneo asciende a **5.0 hm³ anuales**.

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 2008-2009 mostrada en la figura 6. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.05 se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$\Delta V(S)$ = Cambio de almacenamiento en el período analizado;

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

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

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

Como consecuencia de la explotación intensiva del recurso para abastecimiento de agua potable, la posición del nivel piezométrico ha descendido, propiciado una variación negativa del almacenamiento.

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento es de **-6.6 hm³ anuales**.

Tabla 4. Evolución del nivel estático en m (2008-2009)

Evolución (m)	Abatimiento (m)	Área (km ²)	Sy	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
0 a -1	-0.5	65.6	0.05	-1.6
-1 a -3	-2	39.4	0.05	-3.9
-3	-3	7.0	0.05	-1.1
Área de balance		112.0	TOTAL	-6.6

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:

$$R_v = B + Sh \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \quad (2)$$

$$R_v = 36.4 + 5.0 - 6.6 - 21.1 - 0.8$$

$$R_v = 12.9 \text{ hm}^3/\text{año}$$

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

$$R = R_v + E_h + R_r$$

$$R = 12.9 + 21.1 + 0.8$$

$$R = 34.8 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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. Para este caso particular, su valor es de **34.8 hm³/año**, de los cuales 34.1 hm³ son recarga natural y 0.8 hm³ restantes corresponden a la recarga inducida por retornos de riego.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso particular, se considera una descarga comprometida de **5.0 hm³ anuales**, que corresponden a las salidas por flujo subterráneo hacia el acuífero Silao-Romita.

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 (REPDa), 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 **40,141,518 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 34.8 - 5.0 - 40.141518 \\ \text{DMA} &= -10.341518 - \text{hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es **10,341,518 m³ anuales**.

9 BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 2003. Estudio de Actualización Hidrogeológica del acuífero La Muralla, en el estado de Guanajuato. Realizado por Lesser y Asociados S.A de C.V.