



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE GUADALUPE (1416), ESTADO
DE JALISCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero	5
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincia Fisiográfica	6
3.2 Clima.....	7
3.3 Hidrografía	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA.....	8
4.1 Estratigrafía.....	9
4.2 Geología Estructural.....	10
4.3 Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	11
5.1 Tipo de acuífero	11
5.2 Parámetros hidráulicos.....	12
5.3 Piezometría	12
5.4 Comportamiento hidráulico.....	13
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.4.3 Evolución del nivel estático	16
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	17
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1 Entradas	18
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	18
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh).....	19
7.1.3 Recarga inducida (Ri)	20
7.2 Salidas.....	20
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	20
7.2.3 Descarga por flujo base (Dfb).....	21
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	22
8. DISPONIBILIDAD	23
8.1 Recarga total media anual (R).....	23
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	23
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	24
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	24
9. BIBLIOGRAFÍA	25

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 Guadalupe, definido con la clave 1416 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica en la porción centro-este del estado de Jalisco, entre los paralelos 20° 44' y 21° 12' de latitud norte y los meridianos 102° 26' y 102° 49' de longitud oeste; abarca una superficie aproximada de 980 km² (figura 1).

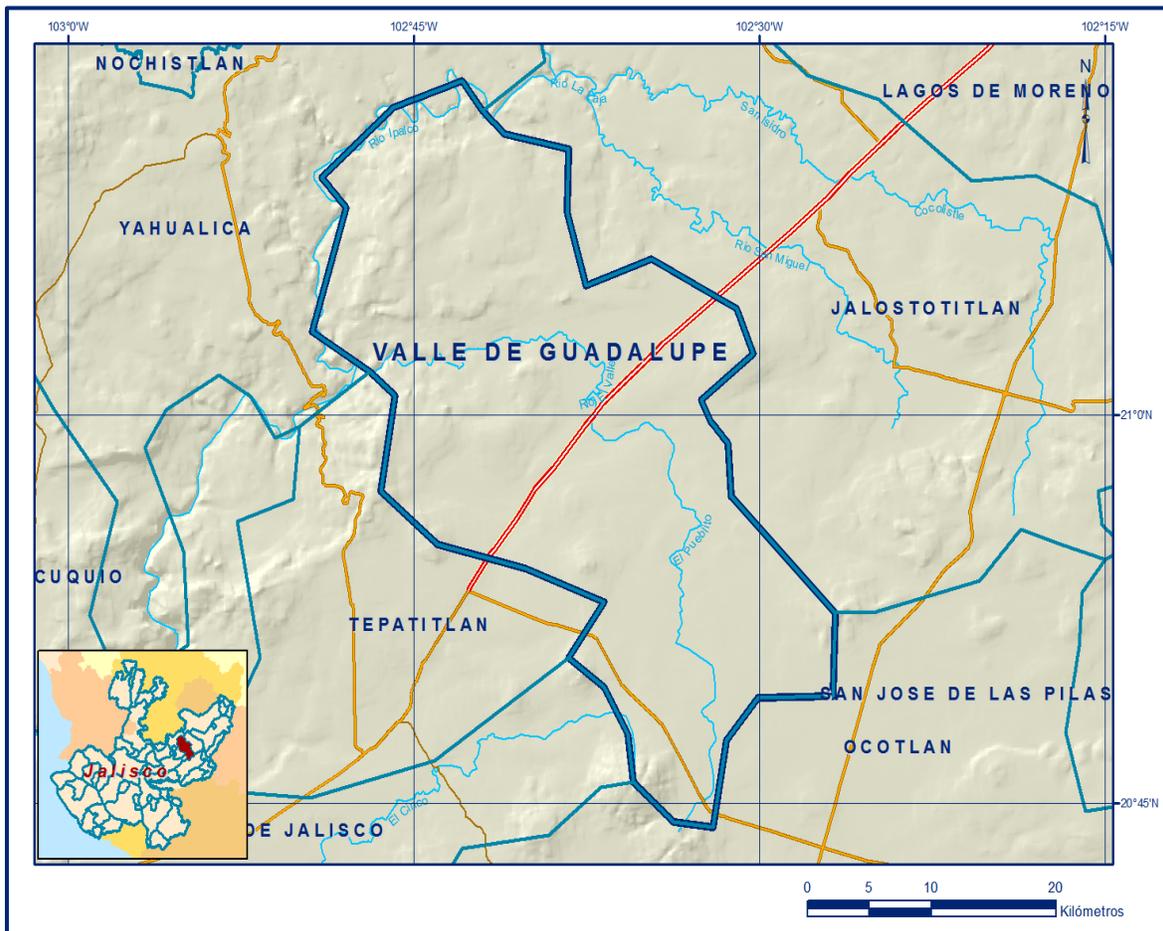


Figura 1. Localización del acuífero

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

ACUIFERO 1416 VALLE DE GUADALUPE						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	46	54.1	21	1	40.5
2	102	49	24.3	21	3	12.9
3	102	47	55.7	21	8	1.8
4	102	49	1.2	21	9	11.2
5	102	45	52.5	21	11	52.9
6	102	42	55.3	21	12	54.6
7	102	42	1.4	21	11	45.2
8	102	41	3.6	21	10	51.3
9	102	38	18.0	21	10	16.6
10	102	38	21.8	21	7	50.3
11	102	37	31.7	21	5	0.8
12	102	34	42.3	21	6	2.4
13	102	30	58.8	21	4	6.9
14	102	30	16.5	21	2	22.9
15	102	32	31.3	21	0	35.0
16	102	32	8.2	20	59	44.9
17	102	31	22.0	20	58	54.9
18	102	31	14.3	20	56	51.6
19	102	26	43.3	20	52	21.3
20	102	26	48.5	20	49	9.4
21	102	30	4.9	20	49	5.5
22	102	31	25.8	20	47	25.4
23	102	32	0.5	20	44	5.1
24	102	33	44.5	20	44	16.6
25	102	35	28.5	20	45	49.1
26	102	35	43.9	20	47	40.8
27	102	36	45.5	20	49	28.6
28	102	38	16.2	20	50	37.5
29	102	36	43.8	20	52	45.8
30	102	40	9.8	20	54	3.9
31	102	43	58.7	20	55	1.2
32	102	46	27.1	20	57	3.2
33	102	45	49.6	21	0	44.9
1	102	46	54.1	21	1	40.5

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

Limita al noroeste con el acuífero Yahualica, al este con Jalostotitlán, al sureste con Ocotlán, al suroeste con Altos de Jalisco y al oeste con el acuífero Tepatitlán, todos ellos pertenecientes al estado de Jalisco. Geopolíticamente se encuentra ubicado en la mayor parte de los municipios Cañadas de Obregón y Valle de Guadalupe, algunas porciones del municipio Tepatitlán de Morelos y una pequeña porción de los municipios Mexxicacán, San Miguel el Alto y Arandas.

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Valle de Guadalupe pertenece al Organismo de Cuenca “Lerma-Santiago-Pacífico”. Su territorio completo se encuentra sujeto a las disposiciones del *“Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en las zonas no vedadas en diversos municipios del estado de Jalisco y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en todos los municipios del estado de Jalisco”*, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de diciembre de 1987.

Este decreto es de 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 uso principal del agua subterránea es el agrícola. En el acuífero no existe Distrito o Unidad de Riego alguna, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la superficie que cubre el acuífero Valle de Guadalupe se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA Y GEOFÍSICA DEL TERRITORIO QUE ABARCAN LOS MUNICIPIOS DE YAHUALICA, MEXTICACÁN, TEOCALTICHE Y VILLA HIDALGO. Elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Clarión, S. A., en 1980. El objetivo del estudio fue determinar las condiciones geohidrológicas de la zona de estudio, utilizando herramientas de geofísica, para identificar la factibilidad de aprovechar el agua subterránea, así como proyectar la construcción de pozos.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA EN LOS VALLES DE OCOTLÁN-TE SISTÁN-ATEMAJAC Y ZONAS DE INUNDACIÓN DEL RÍO SANTIAGO, ESTADO DE JALISCO, PARA PROPORCIONAR AGUA EN BLOQUE A LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO. Elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por la empresa Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A., en 1980. El estudio tuvo como objetivo determinar las características geohidrológicas de las zonas de estudio; la geometría y distribución de las zonas favorables para el aprovechamiento del agua subterránea; así como un programa de perforación de pozos.

SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE ACATIC, TEPATITLÁN Y ARANDAS, JALISCO. Realizado por la Compañía Geólogos Consultores, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en 1981. El objetivo de este estudio fue determinar las condiciones hidrogeológicas y el modelo de funcionamiento del acuífero, identificar las zonas de recarga y descarga y proponer sitios para la perforación de pozos de exploración. El estudio incluyó la descripción geológica y el modelo estratigráfico de la zona de estudio, así como el censo de aprovechamientos.

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS, VALLE DE GUADALUPE, PRIMO VERDAD, LA HUERTA, MIGUEL HIDALGO, CIHUATLÁN, 20 DE NOVIEMBRE, CUQUÍO, COLOTLÁN, TECOLOTLÁN, TOMATLÁN, TEQUILA Y LA BARCA, EN EL ESTADO DE JALISCO. Elaborado por la Universidad Autónoma del Estado de México, para la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en 2010.

Este estudio tuvo como objetivo actualizar el conocimiento de las condiciones geohidrológicas del acuífero para determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea. Como parte de las actividades de campo se realizó un censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. Este estudio 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 Provincia Fisiográfica

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la superficie cubierta por el acuífero se ubica en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, Subprovincia Altos de Jalisco.

El eje Neovolcánico es un área de montañas altas compuesta por una secuencia compleja de rocas volcánicas del Cenozoico, con fosas profundas rellenas con material lacustre del Paleógeno-Neógeno y Cuaternario y está caracterizada por la abundancia de rocas basálticas, riolíticas y lacustres. La subprovincia Altos de Jalisco define vastas mesetas volcánicas y topofomas degradativas creadas por disección hídrica con valles profundos y laderas escarpadas, altiplanicies con lomeríos o colinas redondeadas de arenisca y conglomerado, cañones y depresiones.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1964), para las condiciones climáticas de la República Mexicana, el clima predominante en la zona del acuífero es el templado subhúmedo.

Para la determinación de las variables climatológicas se analizó información de 7 estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero: El Tule, Mexxicacán, San Miguel el Alto, Tepatitlán, Valle de Guadalupe, Villa Obregón y Yahualica González Gallos, cuyo registro comprende un periodo de 66 años. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **797 mm y 13.2 °C** respectivamente.

De igual manera, con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1,879.9 mm anuales**.

3.3 Hidrografía

El acuífero se encuentra ubicado en la Región Hidrológica 12 Lerma Santiago y forma parte de la cuenca Río Verde Grande. La Región hidrológica Lerma-Santiago es la región más importante del estado, no sólo por representar el 50% de la superficie estatal, sino por incluir un 70% de población y prácticamente la mayor parte de la industria. La principal corriente de esta región es conocida como Río Grande Santiago que se origina en el Lago de Chapala.

La cuenca hidrológica Río Verde Grande, tiene una superficie de 14,040 km², de los cuales solamente 989.7 están dentro de los límites del polígono del acuífero.

Las principales corrientes son: El Pueblito, Del Valle y el Río Verde. Existen diversos aprovechamientos superficiales que interceptan las corrientes intermitentes y perennes. Los almacenamientos que destacan son: Presa El Salto, localizada en la porción centro-norte del acuífero. Al sur del acuífero existen bordos que son utilizados principalmente para el abastecimiento pecuario.

3.4 Geomorfología

Los Altos de Jalisco, es un dominio de la cuenca sedimentaria del río Verde y de los bloques elevados del “plateau riolítico” que conforman la meseta de Arandas y de San Julián. Aparecen en este sector del estado tres paisajes diferenciados, más bien por el relieve y las formas de explotación agropecuaria que por otros atributos naturales.

En el extremo NE, colindante con los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Guanajuato, se presenta un paisaje de planicies, de mesas elevadas y de pastizales dedicados a la actividad ganadera y a una agricultura complementaria subordinada a la ganadería con escasos recursos hídricos.

La mitad N y NW de Los Altos geomorfológicamente es el dominio de las planicies formadas a expensas de la cuenca sedimentaria del río Aguas Calientes, río Belén o río Verde. Esta cuenca limita al NW con la sierra de Nochistlán, al S y SE con el Altiplano de Tepatitlán y la meseta de San Julián. En esta zona el paisaje se caracteriza por los relieves planos, tabulares, fosilizados por derrames de basaltos geológicamente modernos y disecados por la erosión fluvial cuaternaria. Se presenta una sucesión de valles poco profundos y amplios relieves planos de terrazas y mesas.

La Agricultura se practica en los valles y la ganadería extensiva en las planicies y llanuras de relativa extensión. En la mitad oriental de esta cuenca, en las inmediaciones de Lagos de Moreno y de la confluencia del río Lagos con el Belén (San Gaspar de los Reyes) los materiales litológicos de la cuenca presentan espesores considerables de sedimentos fluviolacustres calcáreos, regosoles, suelos halófilos y concreciones silíceas (tepetate) que limitan la agricultura y los campos de agostadero.

El sector E y SE de Los Altos es el dominio de los relieves tabulares elevados, formados sobre bloques del “plateau riolítico”, se trata de la altiplanicie de Tepatitlán (1,900 msnm, las mesetas de San Julián y Arandas, separadas por el valle del arroyo Jalpa y cuya altura es de 2,000 a 2,200 m.

Es la zona ganadera por excelencia de Los Altos donde el relieve plano y ondulado junto con el clima de mayores amplitudes térmicas y de mayor humedad, han permitido el desarrollo de suelos fértiles y de pastizales que han reemplazado a los bosques de pino y encino.

4. GEOLOGÍA

En la superficie que cubre el acuífero afloran rocas sedimentarias e ígneas extrusivas; las primeras se presentan en la porción norte y están representadas por calizas, areniscas y limolitas; en tanto que las rocas volcánicas por basalto y riolita-toba ácida y afloran en la mayor parte del área del acuífero. Las principales estructuras geológicas son: aparatos volcánicos, derrames de lava, fracturas y fallas normales, que han dado origen a los amplios valles y fosas tectónicas (figura 2).

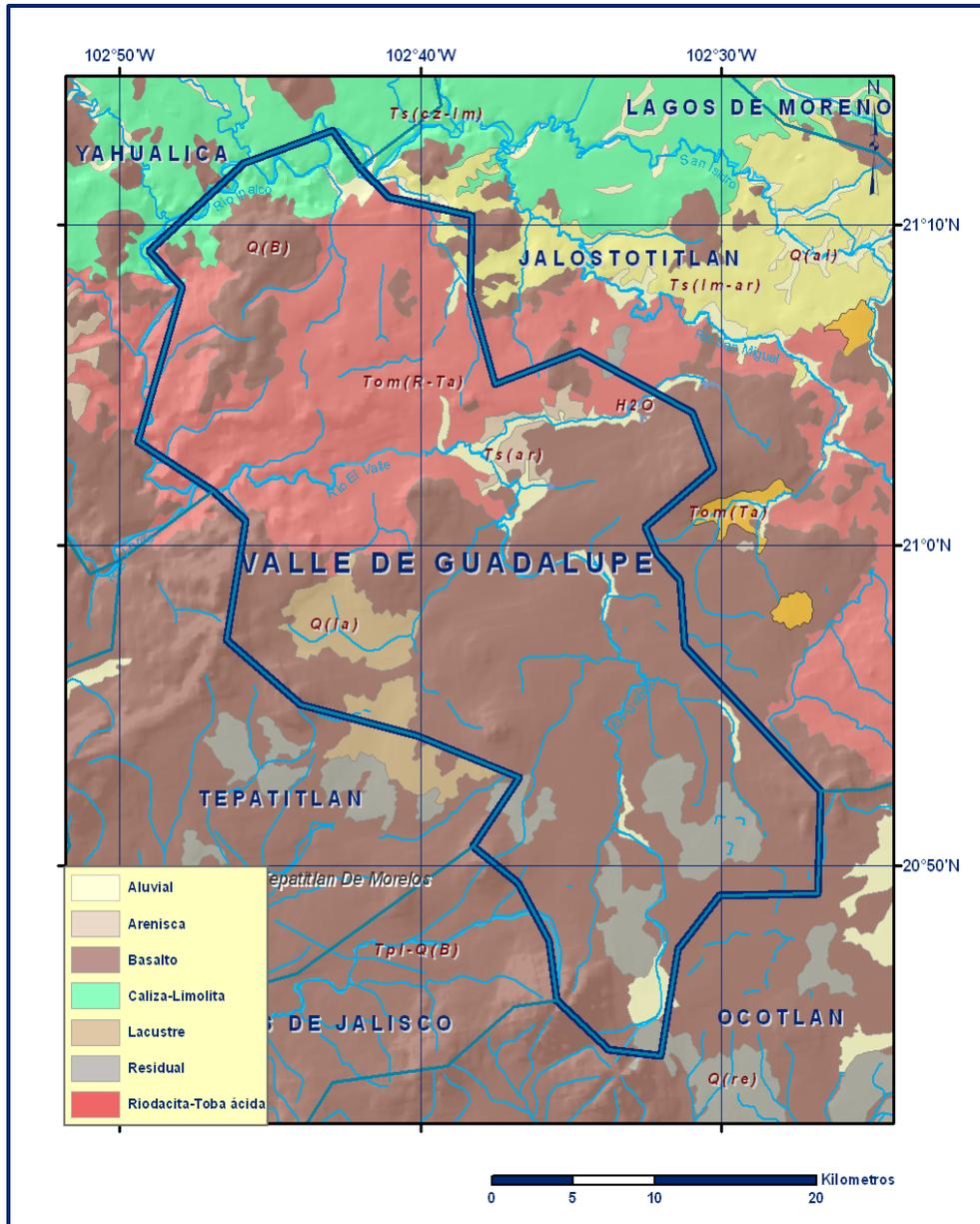


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la base de las rocas del Eje Neovolcánico se presentan lutitas y areniscas con algunos estratos de caliza arcillosa. Los sedimentos están cubiertos concordantemente por ignimbrita con abundante obsidiana y fragmentos de pómez; esta intercalada con niveles de toba cinerítica silíceo. Cubriendo concordantemente la ignimbrita se observa andesita-basalto conformada, en la base, por escoria rojiza de composición andesítica y a la cima por un derrame de basalto y niveles de lava fragmentada. La andesita-basalto está cubierta concordantemente por toba riolítica y riolita.

Cubriendo todas las rocas antes mencionadas se tiene basalto gris oscuro con textura afanítica, estructura vesicular, con intercalaciones de toba riolítica. En el Holoceno se depositaron pumicitas y aluvión, las primeras corresponden a depósitos efusivos de caída libre y el segundo a depósitos clásticos continentales, guijarros, arenas gruesas a finas con limo y arcilla. Distribuidos en pequeñas porciones del acuífero, se manifiestan afloramientos de depósitos aluviales asociados a los cauces de los ríos y arroyos.

Tomando como base la información digital, escala 1:250,000, editada por el INEGI. Se identifican 3 unidades litoestratigráficas del periodo Paleógeno-Neógeno: unidad de tobas ácidas y/o riolitas-tobas ácidas (Oligoceno-Mioceno), que se distribuye en la porción norte del acuífero; unidad de lavas, brechas y escorias de composición basáltica (Pleistoceno), distribuidas de forma masiva en la porción central y sur del acuífero y la unidad de aluvión, del Cuaternario, localizado principalmente en el cauce de los arroyos.

El marco geológico en el acuífero, está caracterizado por intensa actividad volcánica con procesos de erosión, transporte y depositación en ambientes lacustres. En el Paleógeno-Neógeno aparecen rocas ígneas intrusivas y extrusivas, de composición ácida y básica, y sedimentarias arcillo limosas, así como de tipo transicional vulcanoclásticas.

4.2 Geología Estructural

El volcanismo del Cuaternario, en la parte oeste de Eje Neovolcánico, está marcado por tres estructuras de extensión que se intersectan a 50 km al sur-suroeste de la ciudad de Guadalajara y que forman un graben de triple unión (Luhr et. al, 1985).

El graben de Colima se extiende 90 km en dirección sur desde el punto triple de unión, distinguiendo un lineamiento norte-sur que continua en dirección de la costa del Pacífico. Esta zona se sobrepone el límite entre las placas de Cocos y Rivera. El graben de Colima es una estructura compleja, que varía de 20 a 60 km de ancho.

El graben de Chapala, contiene al lago natural de Chapala, se extiende en dirección este por cerca de 90 km, del punto de intersección, dónde se ensancha y muestra una transición de fallas en bloque a escalonamiento, con dirección este-noreste.

El graben Zacoalco, con dirección noroeste, presenta una longitud de 50 km, del punto de intercepción y finalmente se fusiona con el segmento noroeste del Eje Neovolcánico. El alineamiento del vulcanismo Cuaternario y fallamiento se extiende 180 km desde la costa del el Pacífico en una sucesión de fallas transformes del Golfo de California (Lange y Carmichael, 1991).

El reconocimiento de los segmentos noroeste indica una amplia tendencia noroeste de estructuras de graben y evidencia de fallamiento lateral derecho. Pequeños estrangulamientos en la zona de intersección, de los tres graben, sugiere que el fallamiento inició en los graben de Chapala y Colima durante el Plioceno.

La geodinámica indicada tiene una repercusión directa de forma local, por lo que es determinante entender los mecanismos de esfuerzos en una escala macro para entender los rasgos locales.

Las fallas mayores originadas por la tectónica descrita, produjeron sistemas locales de fallamiento y fracturamiento, como es el caso de los sistemas conjugados, que se pueden detectar y medir en las rocas que afloran en el área del acuífero.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con las evidencias de campo, la información geológica del subsuelo reporta: Tobas riolíticas del Cretácico Superior – Paleógeno-Neógeno (Oligoceno - Mioceno), fracturadas, permeabilidad secundaria muy baja, espesor aproximado de 400 m. Ignimbritas de composición riolítica, del Oligoceno – Mioceno, poco permeable, con espesor aproximado de 300 m. Arenas pumíticas, gravas y conglomerados, del Oligoceno – Plioceno, permeable, de espesor aproximado 50 m. Lavas, brechas y escorias de composición basáltica andesítica, del Pleistoceno, permeables, con espesor aproximado de 100 m. El acuífero se encuentra alojado en gravas, arenas, limos y arcillas, suelos residuales, del Reciente, con espesores entre 10 y 30 m.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir que el acuífero presenta un sistema de flujo regional **tipo libre** y localmente semiconfinado debido a la presencia de paquetes arcillosos.

El sistema acuífero se emplaza en las rocas volcánicas y en función del desarrollo de su porosidad secundaria, por fracturamiento, en los horizontes de rocas volcánicas fracturadas (basaltos, andesitas). El basamento hidráulico lo define el contacto con las rocas riolíticas.

Tomando en cuenta lo anterior, se interpreta que la base acuífera se encuentra limitada por un acuicludo, representado por Tobas riolíticas no fracturadas, sobreyaciéndolo existe un horizonte fracturado, representado por las ignimbritas de composición riolítica, de poco interés para ser explotado de forma intensiva. Por encima de éste, se ubica una capa compuesta por arenas pumíticas, grava y conglomerados, de espesor reducido (50 m) y rocas fracturados, compuesto de lavas, brechas y escorias de composición basáltica andesítica; siendo este la unidad acuífera de mayor explotación, actualmente (200 m).

No es posible definir con precisión las áreas que están confinadas y las que funcionan como un acuífero libre. El acuífero somero se distingue por gravas, arenas, limos y arcillas, suelos residuales. La profundidad al nivel freático oscila entre los 10 a 20 m. Las norias son los principales aprovechamientos que explotan estos horizontes. Sin embargo, este acuífero superficial es limitado ya que tiene un espesor reducido que no permite sustentar su explotación.

5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades del estudio realizado en 2010, se llevaron a cabo 3 pruebas de bombeo de corta duración, con caudal constante, en etapa de abatimiento y recuperación y dos aforos. Para su análisis e interpretación se utilizaron los métodos de Theis y Jacob-Cooper, tanto en etapa de abatimiento como recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales, se establece que los valores de transmisividad varían de 5.08×10^{-5} a 4.65×10^{-4} m²/ con un valor promedio de **2.5×10^{-4} m²/s**, en tanto que los valores de conductividad hidráulica varían de 1.27×10^{-7} a 1.16×10^{-6} m/s con un valor promedio de **6.26×10^{-7} m/s**. Ninguna de las pruebas de bombeo contó con pozo de observación, por lo que no se pudieron obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada de las actividades del estudio realizado en el 2010.

De las 156 obras subterráneas, reportados en el censo, en 21 se reporta la profundidad al nivel piezométrico. La información indica un valor mínimo de 0.8 cm; en norias, y máximo de 245.0. La variación en los rangos de la profundidad al nivel piezométrico es indicativa que se trata de un acuífero multicapa.

De forma general los niveles registrados en norias y pozos con profundidades que van de los 0.76 a 30.0 m, corresponde a un acuífero somero. Los valores de la profundidad que oscilan entre los 30 y 2454 m, corresponden a un acuífero profundo que funciona en partes como libre y otras como confinado.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010 (figura 3), se observa que en el acuífero Valle de Guadalupe la profundidad media al nivel estático presenta valores que varían de 110 m, en las porciones sur y oeste del acuífero, hacia los poblados de San Antonio y Los Dolores, a 240 m, en el centro del acuífero y al sureste cerca de los límites con el acuífero Altos de Jalisco, hacia los poblados de La Nopalera y Rancho El Centro, lo que reflejan el comportamiento del acuífero profundo.

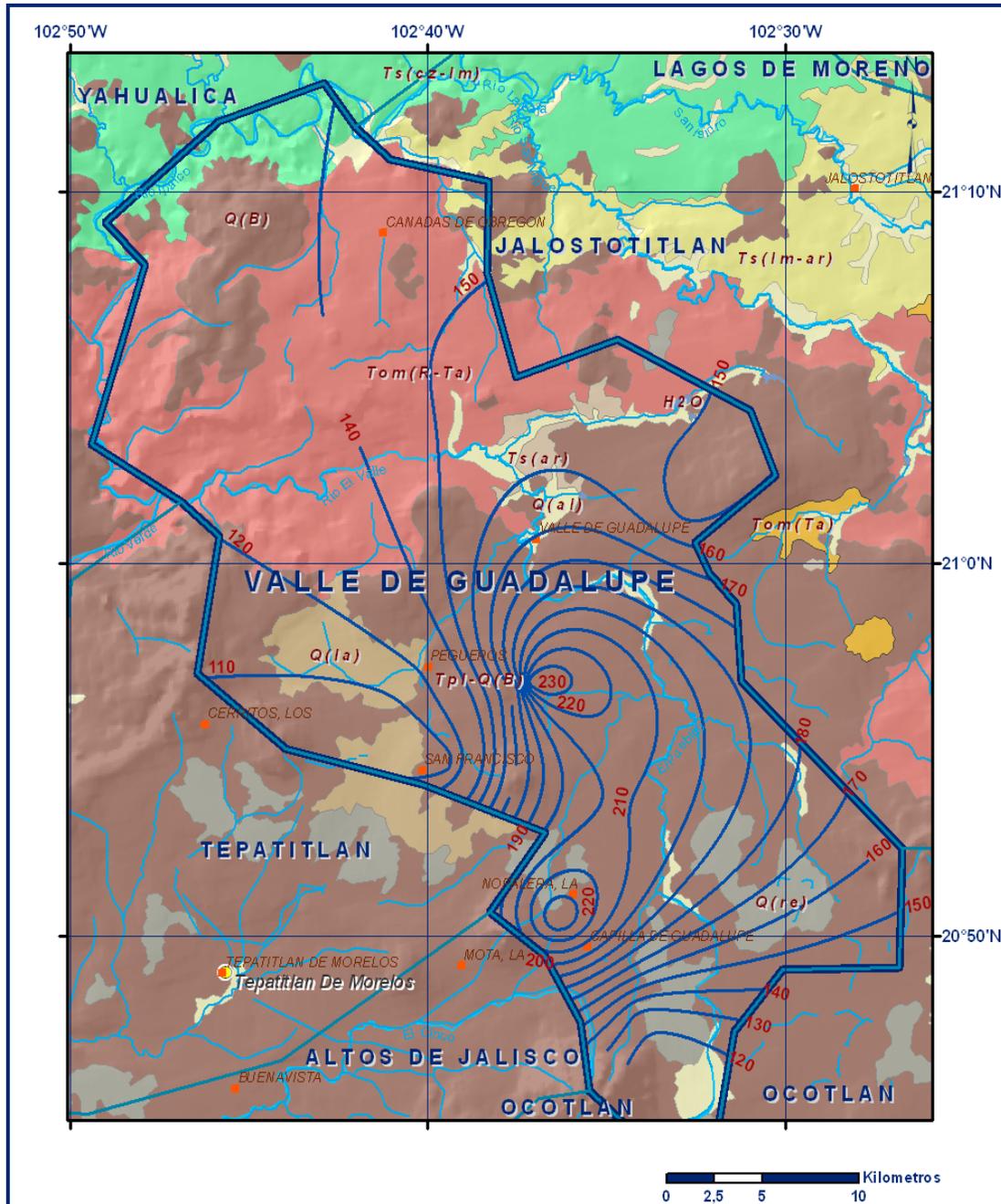


Figura 3. Profundidad del nivel estático en msnm (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, mostrada en la figura 4, se observa que el sistema de flujo natural del acuífero tiene una dirección preferencial hacia el sur-noreste, con valores máximos de 1,980 msnm en las zonas topográficamente más altas, descendiendo gradualmente hasta los 1,700 msnm, mostrando de esta manera, al igual que en la configuración de la profundidad, el reflejo de la topografía y evidenciando la dirección preferencial del flujo subterráneo.

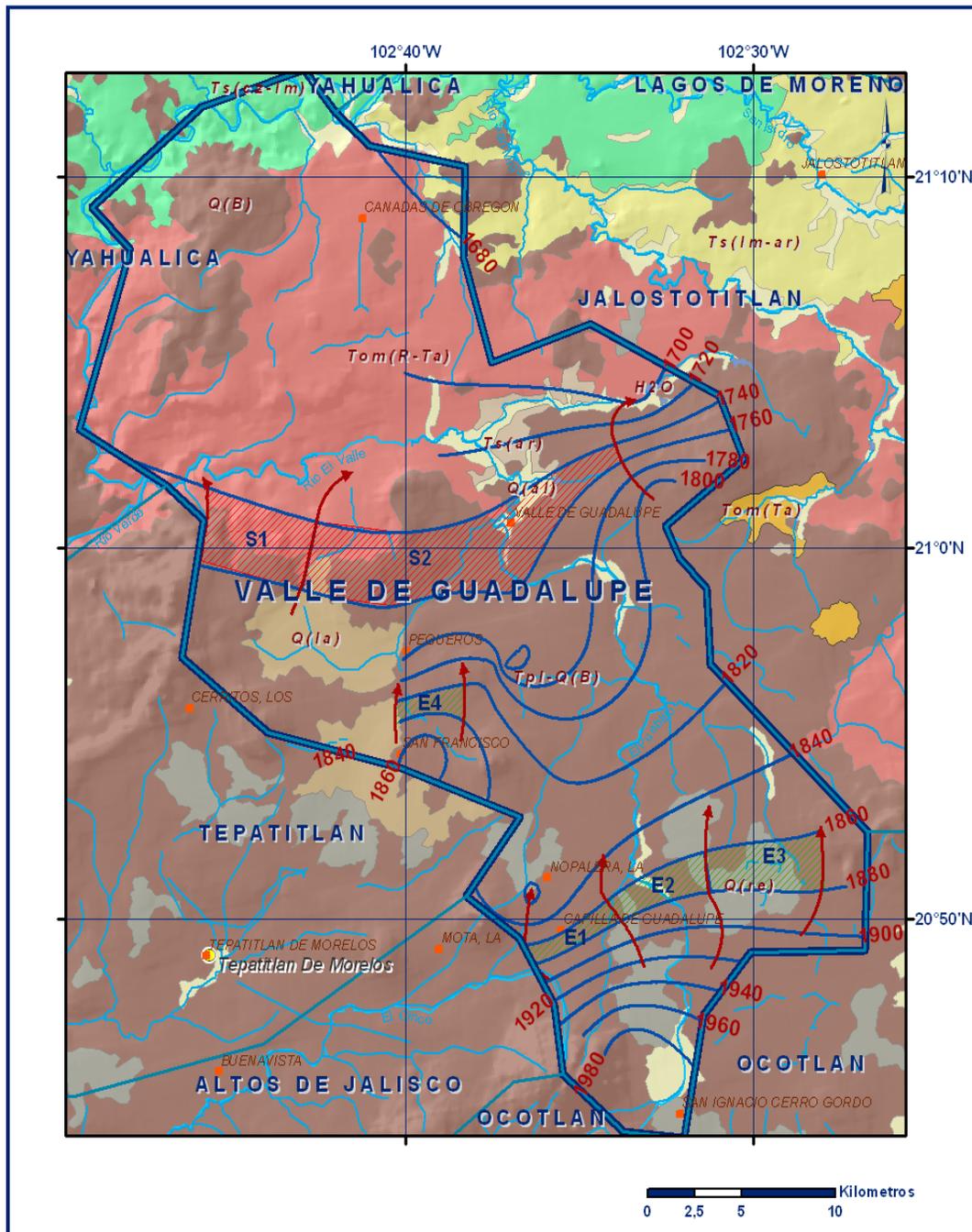


Figura 4. Elevación del nivel estático en msnm (2014)

Los valores máximos se localizan al sur, hacia la zona de los poblados de San Ignacio Cerro Gordo y Arandas y disminuye de forma gradual con dirección noroeste, hasta llegar a la margen del Río Verde; hacia la zona de los poblados de Cañadas de Obregón y Mexxicacán.

5.4.3 Evolución del nivel estático

Con respecto a la evolución del nivel estático, no se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración. Las escasas mediciones piezométricas recabadas en los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero.

Aunado a esto, la configuración de la elevación del nivel estático no demuestra alteraciones del flujo natural del agua subterránea que indiquen la presencia de conos de abatimiento causados por la concentración de pozos. Por estas razones, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Las mediciones realizadas en 2010 serán el punto de partida para el establecimiento del monitoreo de los niveles del agua subterránea.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 2010, se tomaron 6 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos, iones mayoritarios, temperatura, conductividad eléctrica, pH, Eh, Nitratos, dureza total, sólidos totales disueltos, Fe, Mn, etc., 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, para los diferentes usos. La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores extremos que varían de 192 a 328 ppm, que no sobrepasan el límite máximo permisible de 1000 ppm establecido 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.

Las menores concentraciones se registran en los aprovechamientos localizados hacia las partes topográficamente más altas, ubicadas al sur del acuífero cerca del poblado Capilla de Guadalupe.

En la parte NE del acuífero, sobrepasa ligeramente el límite permisible de arsénico con concentración de 0.036 mg/l y por mucho el de flúor con concentración de 8.81 mg/l. En la misma zona, hacia el suroeste, también sobrepasa el límite permisible para flúor con concentración de 2.55 mg/l. La norma para agua potable indica los valores permisibles límite de 0.25 mg/l para arsénico y de 1.25 mg/l para flúor.

En la zona de recarga la familia de agua es bicarbonatada-cálcica, que se origina en la porción SE y evoluciona a medida que se profundiza a sulfatada-sódica hacia las zonas de descarga o salidas del flujo subterráneo, localizadas al norte del acuífero. El agua es baja en contenido de sodio y puede utilizarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de elevar las concentraciones de sodio intercambiable.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamiento realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 156 aprovechamientos, de los cuales 151 son pozos y 5 norias; de ellos 126 están activos (121 pozos y las 5 norias) y 30 pozos inactivos. El volumen de extracción es de 16.9 hm³ anuales, de los cuales 6.7 hm³ (39.6%) se destinan para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región, 7.5 hm³ (44.4%) para la actividad agrícola y los 2.7 hm³ restantes (16.0%) para satisfacer las necesidades del uso doméstico y de servicios.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para 2010, en la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localizan los aprovechamientos.

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 como sigue.

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por dos procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia en el valle, por infiltración de los escurrimientos a lo largo de los 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 subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola, que representa la ineficiencia en la aplicación del riego en la parcela, del agua residual de las descargas urbanas y de las fugas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri).

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

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

Donde:

Eh= Entrada por flujo subterráneo horizontal;

Rv= Recarga vertical;

Ri= Recarga inducida;

B= Bombeo;

Sh= Salidas por flujo subterráneo horizontal;

Dfb= Descarga por flujo base;

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

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

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 acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del piedemonte, 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 su cálculo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente a 2010, mostrada en la figura 4. 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:

$$Q = B * i * T$$

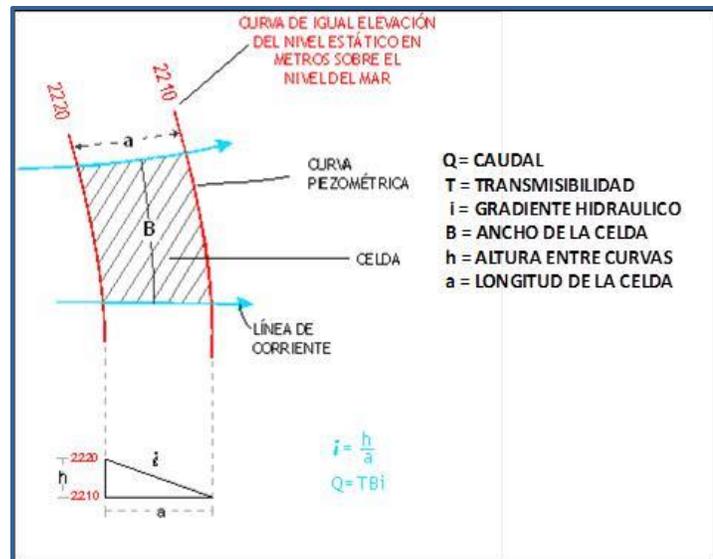
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico
(adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona. La recarga total del flujo subterráneo 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. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **2.5 hm³/año**.

Tabla 2. Cálculo de entradas subterráneas por flujo horizontal

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i (m)	T (m^2/s)	CAUDAL Q (m^3/s)	VOLUMEN ($hm^3/año$)
E1	5000	968	20	0.0207	0.0003	0.0311	0.9792
E2	5000	1585	20	0.0126	0.0003	0.0189	0.5960
E3	5678	2791	20	0.0072	0.0003	0.0123	0.3868
E4	3476	1238	20	0.0162	0.0003	0.0169	0.5327
Total entradas							2.5

7.1.3 Recarga inducida (Ri)

En las zonas agrícolas, establecidas en el acuífero Valle de Guadalupe, se considera que un porcentaje del volumen de agua aplicada en el riego no es usado como uso consuntivo, se infiltra y eventualmente alcanza la superficie freática. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego. Para este caso, se aplican a la agricultura de riego aproximadamente $7.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ y considerando que un 20% de este volumen retorna al acuífero en forma de recarga inducida, los que representa $1.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ de recarga por retornos de riego.

Para el caso del acuífero Valle de Guadalupe sólo se tomará en cuenta la recarga inducida proveniente del uso Agrícola debido a que el volumen destinado para el uso Público Urbano se encuentra distribuido en pequeñas poblaciones dispersas en todo el territorio del acuífero y en zonas aledañas a este. El total de la recarga inducida asciende a **$1.5 \text{ hm}^3/\text{año}$** .

7.2 Salidas

Las descargas en el acuífero ocurren principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo (Sh) y mediante descargas del flujo base (Dfb). No existe evapotranspiración ni descarga a través de manantiales.

7.2.1. Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **16.9 hm^3 anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas a partir de la configuración de la elevación del nivel estático de 2010, de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas (figura 4). Las celdas de salida se localizaron en la parte más baja del área de explotación.

El valor estimado para este año de análisis para cada una de las celdas se muestra en la tabla 3. El valor total de las salidas por flujo subterráneo horizontal asciende a **1.4 hm³/año**.

Tabla 3. Cálculo de salidas subterráneas por flujo horizontal

CANAL	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i (m)	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	3987	3371	20	0.0059	0.0003	0.0071	0.2
S2	14501	2361	20	0.0085	0.0003	0.0370	1.2
Total entradas							1.4

7.2.3 Descarga por flujo base (Dfb)

El flujo base es una descarga de agua subterránea convertida en agua superficial como escurrimiento directo. El gasto base se calcula de acuerdo a la expresión siguiente.

$$Q_B = Q_0 K^t$$

Donde:

Q₀ = Gasto inicial;

k = Conductividad hidráulica;

t = tiempo de estiaje;

La ecuación de gasto base requiere conocer además de un gasto inicial, un valor de conductividad y un tiempo de estiaje, la longitud de las corrientes perennes durante el periodo de estiaje. Son cuatro las corrientes superficiales con gasto base. El desarrollo total es de 130 km. En la tabla se muestra el desarrollo de cada una.

Corriente	Longitud (km)
Rio Verde	55.2
Arroyo Prieto	39.1
El Valle	30.5
Tecameca	5.1
Total	130.0

Con un valor de gasto inicial de 0.07 m³/s, en un periodo de 100 días de estiaje y una conductividad hidráulica de 0.905 m/s, para 130 km de corrientes perennes, se obtiene lo siguiente:

$$QB = QO Kt$$

$$QB = 0.07 \times 0.905100 = 3.24 \times 10^{-6}$$

$$Dfb = (3.24 \times 10^{-6}) (130,000) = 0.4206 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Dfb = 13.3 \text{ hm}^3\text{/año}$$

Se estima un flujo base, para 130 km de corrientes perennes en el periodo de estiaje, que asciende a **13.3 hm³/año**.

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

Como se menciona en el apartado de evolución del nivel estático, no se dispone de información piezométrica para elaborar la configuración de la evolución del nivel estático para un periodo de tiempo. Los registros existentes recabados en recorridos de campo se encuentran dispersos en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Por otra parte, debido a que el volumen de extracción es menor a la recarga que recibe el acuífero, todavía no se registran alteraciones en la dirección natural del flujo subterráneo.

Bajo estas consideraciones, se considera que la posición del nivel del agua subterránea no ha sufrido alteraciones importantes y el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo. Por esta razón, para fines del balance de aguas subterráneas, no existe cambio de almacenamiento en el acuífero. Por lo tanto, para fines del balance **$\Delta V(S) = 0$** .

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:

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

$$Rv = 1.4 + 16.9 + 0.0 + 13.3 - 2.5 - 1.5 - 0.0$$

$$Rv = 27.6 \text{ hm}^3\text{/año}$$

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

$$R = Rv + Eh + Ri$$

$$R = 27.6 + 2.5 + 1.5$$

$$R = 31.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **31.6 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Valle de Guadalupe se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **1.7 hm³ anuales**, de los cuales 0.4 hm³ corresponden al 30 % de las salidas por flujo subterráneo hacia el norte del acuífero y 1.3 hm³ al 10% de las salidas por caudal base.

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 **34,021,414 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 31.6 - 1.7 - 34.021414 \\ \text{DMA} &= -4.121414 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **4,121,414 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua. 2010. Estudio de Actualización Geohidrológica de los acuíferos Valle de Guadalupe, Cuquío, Tequila, Jalostotitlán y Colotlán, en el estado de Jalisco. Realizado por el Instituto Mexicano de tecnología del Agua.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1981. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la zona de Acatic, Tepatitlán y Arandas, Jalisco. Realizado por la compañía Geólogos Consultores, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Estudio de Prospección Geohidrológica y Geofísica del territorio que abarcan los municipios de Yahualica, Mexxicacán, Teocaltiche y Villa Hidalgo. Realizado por la compañía Clarión, S. A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1980. Prospección Geofísica en los valles de Ocotlán-Tesistán-Atemajac y zonas de inundación del Río Santiago, estado de Jalisco, para proporcionar agua en bloque a la ciudad de Guadalajara. Realizado por la Compañía Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S.A.