CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO OCAMPO (1103), 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 6
3.1. Provincias fisiográficas 6
3.2. Clima 6
3.3. Hidrografía 7
3.4. Geomorfología 7
4. GEOLOGÍA 7
4.1. Estratigrafía 10
4.2. Geología estructural 12
4.3. Geología del subsuelo 13
5. HIDROGEOLOGÍA 14
5.1. Tipo de acuífero 14
5.2. Parámetros hidráulicos 15
5.3. Piezometría 15
5.4. Comportamiento hidráulico 15
5.4.1. Profundidad al nivel estático 15
5.4.2. Elevación del nivel estático 17
5.4.3. Evolución del nivel estático 19
5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea 19
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA 20
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 20
7.1. Entradas 21
7.1.1 Recarga vertical (Rv) 21
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) 21
7.2. Salidas 22
7.2.1. Bombeo (B) 23
7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh) 23
7.2.3. Descarga de manantiales (Dm) 23
7.3. Cambio de almacenamiento ΔV(S) 23
7.4. Solución de la ecuación de balance 24
8. DISPONIBILIDAD 24
8.1. Recarga total media anual (R) 24
8.2. Descarga natural comprometida (DNC) 25
8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) 25
8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) 25
9. BIBLIOGRAFÍA 27

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-2000 "Norma Oficial Mexicana que establece 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 concesionado vigente en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA).

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 de Ocampo, definido con la clave 1103 por la Comisión Nacional del Agua, se ubica la porción noroccidental del estado de Guanajuato, cubriendo una superficie aproximada de 1,651 km^2 (Figura 1).

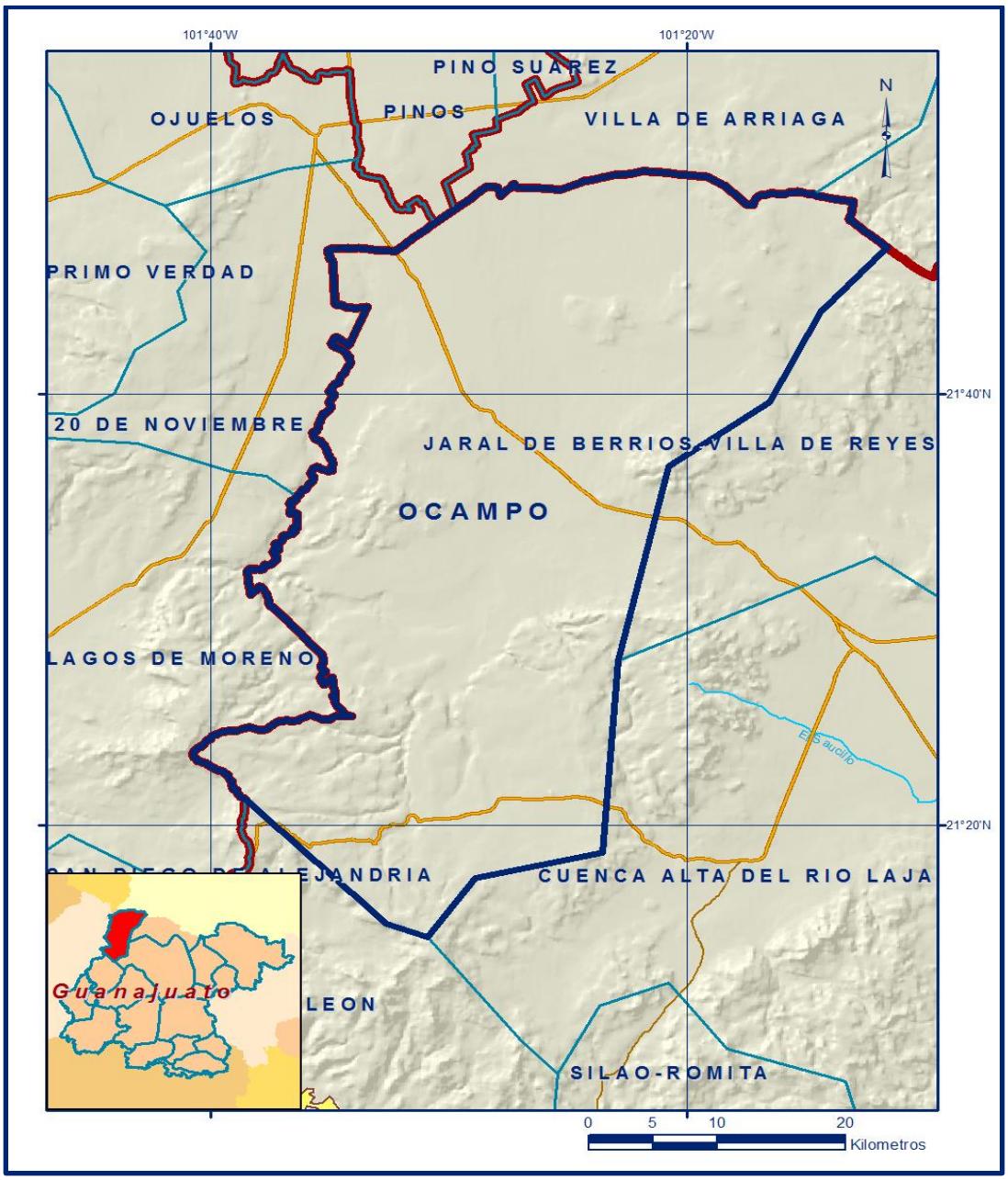


Figura 1. Localización del acuífero

Limita al norte con los acuíferos Pinos en el estado de Zacatecas y Villa de Arriaga en el estado de San Luis Potosí; al este con los acuíferos Jaral de Berrios-Villa de Reyes en el estado de San Luis Potosí (interregional Guanajuato-San Luis Potosí) y Cuenca Alta del Río Laja en el estado de Guanajuato; al sur con el acuífero Valle de León del estado de Guanajuato y al oeste con los acuíferos 20 de noviembre y Lagos de Moreno, pertenecientes al estado de Jalisco. Geopolíticamente su territorio cubre parcialmente los municipios Ocampo y San Felipe. Las coordenadas que delimitan la poligonal simplificada del acuífero, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 1103 OCAMPO							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	101	16	33.3	21	39	38.7	
2	101	20	47.2	21	36	38.6	
3	101	22	55.8	21	27	38.9	
4	101	23	34.2	21	18	45.8	
5	101	28	53.7	21	17	32.9	
6	101	30	54.8	21	14	49.8	
7	101	32	37.3	21	15	27.0	
8	101	38	32.7	21	21	11.2	DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL
9	101	36	24.2	21	35	16.7	DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL
10	101	30	35.8	21	47	56.4	DEL 10 AL 11 POR EL LIMITE ESTATAL
11	101	29	45.5	21	48	34.5	DEL 11 AL 12 POR EL LIMITE ESTATAL
12	101	14	42.7	21	49	16.8	DEL 12 AL 13 POR EL LIMITE ESTATAL
13	101	11	36.3	21	46	47.8	
14	101	14	25.6	21	43	49.0	
1	101	16	33.3	21	39	38.7	

1.2. Situación administrativa del acuífero

El acuífero Ocampo 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 dos decretos de veda. La mayor parte de su porción norte está regida por el *Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los limites geopolíticos de los Municipios de Ocampo, San Felipe, San Diego de la Unión y San Luis de la Paz del Estado de Guanajuato; en consecuencia, se establece veda por tiempo indefinido para la explotación de dichos recurso*, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de julio de 1976; la porción sur por el *Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Silao, Irapuato y Salamanca, en el Estado de Guanajuato, publicado en el* DOF el 06 de diciembre de 1958. Ambas vedas se clasifican como tipo II, en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

El usuario principal del agua es el público urbano. El acuífero pertenece al Consejo de Cuenca Río Santiago instalado el 14 de julio de 1999 y al Consejo Técnico de Aguas de Ocampo, A.C., instalado el 17 de febrero de 2006.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona del acuífero se han realizado algunos estudios hidrogeológicos, entre los más importantes se incluyen los siguientes:

ESTUDIO SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOFÍSICOS Y GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE SAN FELIPE–OCAMPO. Elaborado en 1981 por Geohidrológica Mexicana S.A., para la Comisión Nacional del Agua. El objetivo de este trabajo fue apoyar los estudios geohidrológicos en las zonas de Sierra Jacales, San Felipe Torres Mochas y Santa Catarina–Santa Rosa–El Bravo. Se determinó que las posibilidades geohidrológicas en el área eran bajas o nulas.

ESTUDIOS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN LA ZONA DE OJUELOS, JALISCO Y OCAMPO EN GUANAJUATO. Elaborado por la Geofísica de Exploraciones GUYSA, para la Comisión Nacional del Agua en 1986. Los objetivos del estudio fueron**:** determinar el espesor y la distribución de los materiales granulares y de las rocas volcánicas del área; conocer la profundidad del contacto entre las rocas ígneas y las rocas sedimentarias de origen marino del Cretácico y definir las características hidrogeológicas en el subsuelo del área explotada. Se concluye que la cima de las rocas mesozoicas se encuentra entre 190 y 300 m de profundidad, en la porción noroccidental, y en la porción occidental no se detectó en las exploraciones hasta una profundidad de 500 m, además de que estas rocas constituyen un sello impermeable al agua que se encuentra en las rocas volcánicas.

CENSO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Elaborado por la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Guanajuato, en 1997. Determinó el número y tipo de aprovechamientos, así como su distribución por usos de la extracción.

ESTUDIO DE PROSPECCIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE OCAMPO. Elaborado en 1999 por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí para la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG) y la Comisión Nacional del Agua. Los objetivos del estudio fueron: determinar las estructuras geológicas principales que controlan el almacenamiento y flujo del agua subterránea; evaluar en forma preliminar su capacidad de producción; determinar las condiciones actuales de explotación: cuantificar y delimitar las zonas de recarga–descarga y las condiciones en que éstas se llevan a cabo; determinar la disponibilidad de aguas subterráneas.

Además, definir las áreas potenciales para la extracción; determinar las características hidráulicas del acuífero y la calidad del agua subterránea desde el punto de vista físico–químico y su relación con la geología de la zona; definir áreas de abastecimiento futuro; así como evaluar el riesgo potencial de contaminación e impacto ambiental.
Como parte de las actividades se actualizó el censo de pozos y se elaboró la base de datos georeferenciada; adicionalmente, se definió una propuesta de políticas de operación y estrategias para administrar el recurso, con el propósito de hacer uso eficiente de él y regular su explotación.

ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL ACUÍFERO DE OCAMPO. Elaborado por Servicios de Ingeniería e Investigación del Medio Ambiente para la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), en 2009. Su objetivo fue la actualización del censo de aprovechamientos y de la extracción por usos. Se identificaron 70 aprovechamientos y concluye que el mayor volumen de extracción es para abastecimiento de agua potable a las comunidades de la región.

3. FISIOGRAFÍA

3.1. Provincias fisiográficas

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas realizada de INEGI, la superficie cubierta por el acuífero se localiza en la Provincia Fisiográfica Mesa Central, Subprovincias Fisiográficas Llanura de Ojuelos-Aguascalientes, Sierras y Llanuras de Guanajuato y la Discontinuidad Fisiográfica Sierra Cuatralba.

3.2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García, para las condiciones de la República Mexicana, en el área cubierta por el acuífero predomina el clima semiseco templado BS1kw, con lluvias en verano e invierno seco.

Para la determinación de las condiciones climatológicas, se utilizaron los datos de 4 estaciones que tienen influencia en el área del acuífero, con un periodo de registro que comprende 1948-2011; mediante el método de polígonos de Thiessen, se determinó que los valores promedio anuales de temperatura, precipitación y evaporación potencial son **16.8°C, 470.8 mm y 2,042 mm**, respectivamente.

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

3.3. Hidrografía

El acuífero se ubica en la Región Hidrológica 12 Lerma-Santiago; dentro de la Cuenca Río Verde-Grande a la que pertenecen las subcuencas Río Guanajuato y Río Turbio.
El patrón de drenaje que predomina es de tipo rectangular, controlado principalmente por las estructuras, la litología y morfología de las unidades en las que se emplaza; tal es el caso de la Sierra Cuatralba en la que el sistema de drenaje está controlado por un sistema de fracturamiento que permite la existencia de cauces definidos que no se pierden en la cuenca.

En las estructuras dómicas de algunas elevaciones, se presenta drenaje de tipo radial de alta densidad, como es el caso de los Cerros Panalillo y Los Pájaros, conformados por rocas volcánicas fracturadas; algunos escurrimientos se pierden por infiltración en los piedemonte y abanicos aluviales y sólo muy pocos llegan a la planicie.

Los principales arroyos que conforman la región son Los Gachupines, San José, La Cieneguita, Los Pitos, Calecilla, La Boquilla y La Yerbabuena, todos ellos afluentes del Río Verde Grande.

En la parte central del acuífero los arroyos Los Altos de Ibarra, el Álamo, Los Tepozanes, La Alberca y el Cantón confluyen al Arroyo Grande, el cual posteriormente se une al Torreón que drena la Sierra Santa Bárbara. El sistema del Arroyo Grande drena fuera de la cuenca hacia la Presa El Cuarenta, en el Estado de Jalisco. El parteaguas define una dirección de flujo hacia el Valle de León.

3.4. Geomorfología

Está conformada por amplias llanuras con lomeríos de piedemonte o aislados y sierras pequeñas escarpadas de naturaleza volcánica; sistemas de mesetas lobuladas y escalonadas, valles de convexidad vertical, sierras y valles paralelos separados entre sí por áreas planas en sus partes altas y hacia la parte sur sierras con valles ramificados muy amplios.

4. GEOLOGÍA

La geología regional de la zona está constituida por rocas volcánicas, vulcanosedimentarias con metamorfismo de bajo grado y sedimentarias cuyas edades abarcan el periodo comprendido entre Jurásico Superior–Cretácico Inferior al Holoceno (figura 2).

Las rocas más antiguas corresponden a los sedimentos marinos originados en el denominado Complejo Vulcanosedimentario de la Sierra de Guanajuato.

Las del periodo Triásico Superior hasta el Jurásico Inferior se depositaron en condiciones marinas. Las rocas del Jurásico Inferior-Cretácico Superior indican un ambiente de depósito de aguas profundas, representadas por el complejo sedimentario de la Sierra de Guanajuato, que presentan un fuerte metamorfismo originado por un cuerpo intrusivo denominado Arperos.

Las rocas sedimentarias del Cenozoico, consisten de sedimentos clásticos continentales del Paleoceno-Eoceno, representadas por la Formación Cenicera. De Cenozoico son las rocas ígneas extrusivas, de composición félsica; finalmente, el Cuaternario está representado por diferentes sedimentos tanto aluviales como residuales.

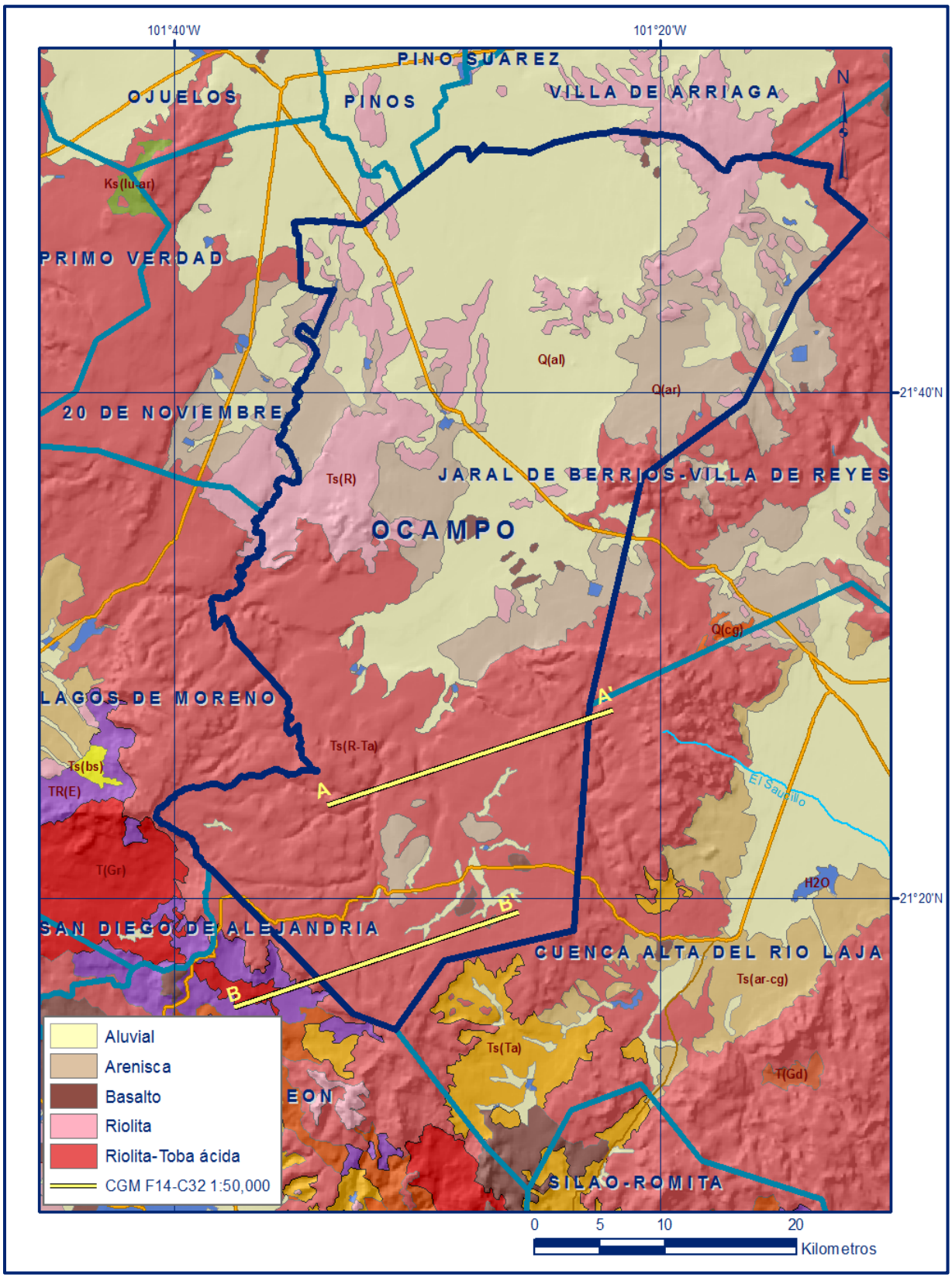


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1. Estratigrafía

A continuación, se describen brevemente las unidades litológicas presentes en la superficie del acuífero, en orden cronológico de la más antigua a la más reciente.

Triásico-Cretácico

Complejo Vulcanosedimentario

Estas rocas se encuentran aflorando en la porción sur del acuífero y corresponden a una secuencia basáltica de lavas almohadilladas denominada Ofiolita Barbosa y así como una secuencia de rocas sedimentarias de tipo pelítico con algunos horizontes calcáreos.

Ofiolita Barbosa

Es una secuencia de lavas almohadilladas de composición basáltica con diques de diabasa y gabro; presenta una textura vitrolítica y un espesor promedio de 400 m.

Unidad Sedimentaria

Conforma la roca encajonante de un cuerpo intrusivo, de dimensiones batolíticas, denominado Granito Comanjá, en esta unidad se observan diferencias litológicas que consisten en lutitas silíceas y pedernal en estratificación delgada, así como también material volcánico tobáceo, rocas calcáreas y grauvacas.

Las rocas de esta secuencia se encuentran intensamente plegadas, intrusionadas y deformadas.

Neógeno

Granito Arperos

Cuerpo plutónico de composición granítica que aflora en la región central de la Sierra de Guanajuato, presenta un color rosáceo claro con manchas blancas y negras de textura holocristalina, hipidiomórfica-granular, formado por plagioclasas, ortoclasas, cuarzo y biotita. Se encuentra intrusionando a toda la secuencia marina existente.

Formación Cenicera

Formación conocida como Conglomerado Rojo de Guanajuato; su composición consiste de una secuencia de brechas, conglomerados, areniscas poco consolidadas, limos y arcillas; presenta cambios bruscos de conglomerados a zonas arcillo-limosas con cloritización debido a la influencia del intrusivo.

Andesita Casita Blanca

Es una andesita constituida por coladas de lava de composición basáltica, de color gris oscuro con una matriz microcristalina de vidrio volcánico.

Ignimbrita Cuatralba

Sobreyace discordantemente a los derrames andesíticos y aflora en forma de domos riolíticos aglutinados, cuyos productos volcánicos están constituidos principalmente por potentes espesores de riolita de textura porfídica, con marcada estructura fluidal, así como tobas riolíticas con intercalaciones de flujos, con niveles de brecha volcánica de composición riolítica y toba riolítica de cenizas, con un espesor aproximado de 500 m.

Riolita San Miguelito

Consiste de un derrame lávico de color gris claro, con un 20-25% de fenocristales de sanidino y cuarzo, en ocasiones presenta fenocristales de magnetita diseminada en la matriz, la cual se encuentra desvitrificada; presenta una textura fluidal así como columnar con algunas oquedades con cristalización de fase de vapor, junto con otras unidades volcánicas cubre la Sierra San Miguelito.

Ignimbrita Cantera

Es una ignimbrita que presenta una textura vitroclástica de color gris-rosáceo con aproximadamente 4-7% de fenocristales de cuarzo y en menor cantidad sanidino, presenta escasos ferromagnesianos alterados de hematita.

En los planos de fluidez se puede observar calcedonia y cuarzo secundario rellenando los huecos, la matriz es porfídica y desvitrificada.

Riolita Panalillo

Es una roca ignimbrítica de color café y de textura esferulítica con vesículas rellenas de feldespato, cuarzo y calcedonia, en matriz desvitrificada.
En el área se encuentra aflorando el miembro inferior, el cual corresponde a una toba de caída libre que principalmente se encuentra rellenando las partes bajas, presenta un aspecto arenoso de color blanco amarillento.

Algunas veces presenta estratos de 10 a 15 cm de espesor con estratificación cruzada; contiene algunos cristales de cuarzo y sanidino, pómez y algunos líticos.

Intrusivo Nuevo Valle

Es un cuerpo plutónico que aflora en la porción suroriental del área y se trata de una roca de color café oscuro a negro, de textura hipidiomórfica-granular, merocristalina, constituida por cristales subhedrales a anhedrales, además de olivino y piroxenos.

Basalto Cabras

Son rocas basálticas que presentan una matriz constituida por cristales subhedrales de labradorita y piroxeno secundario, con una textura traquítica; presenta un lajeamiento en capas delgadas, así como amígdalas rellenas de calcita y calcedonia.

Cuaternario

Aluvión

Es una unidad sedimentaria clástica de origen continental que corresponde a los depósitos aluviales, coluviales y suelos residuales, constituidos por fragmentos líticos de las rocas preexistentes, principalmente de gravas, arenas y limos.

4.2. Geología estructural

El marco tectónico-estructural fue afectado por una primera deformación (Nevadiana) que alteró al complejo vulcanosedimentario dando origen a estructuras con orientación suroeste y noroeste, posteriormente se presentó una deformación después del depósito de calizas originando estructuras plegadas con orientación noroeste-sureste. La Ignimbrita Cantera, presenta poca variedad de inclinaciones; los principales sistemas de fallas normales tienen una orientación N 60°O y N 50°E, que se relacionan genéticamente con el graben de Villa de Reyes. Existe además otro sistema de fallas de mayor desplazamiento que originó la depresión topográfica denominada El Bajío.

El sistema de fallas que expone el complejo vulcanosedimentario con la Ignimbrita Cantera fue el que dio origen a las fosas tectónicas de Ibarra, siendo su desplazamiento aparente de 800 m, acentuándose hacia el norte de la zona.

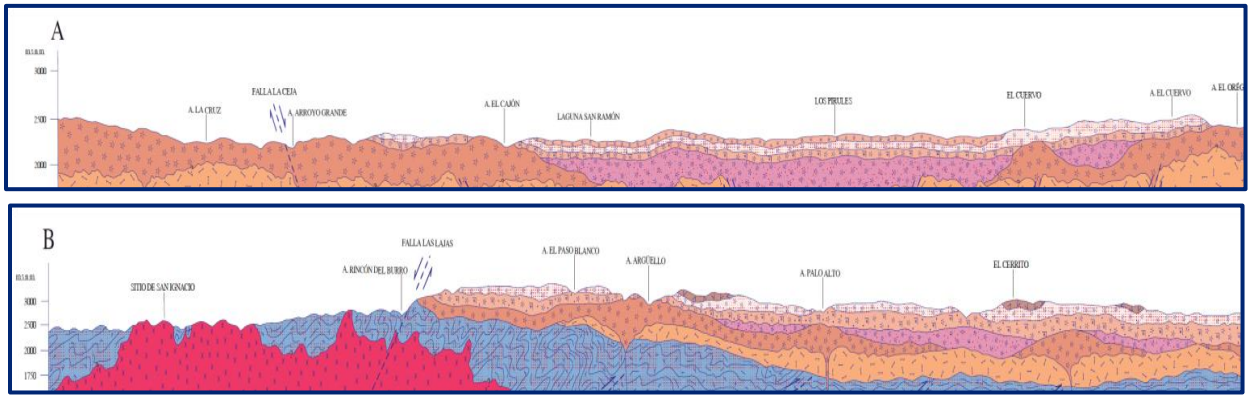
Las estructuras más sobresalientes se atribuyen a un régimen de esfuerzos distensivos, que generó sistemas de fallamiento normal y de tipo lateral. Las fallas normales con dirección NW-SE son: Santo Domingo, El Griego, La Calandria y El Aguaje. Las de orientación NE-SW configuran la fosa Villa de Reyes y la depresión de Ibarra. Otras fallas son El Saltito, El Torreón, La Media Luna y Puerto Blanco.

La deformación dúctil se manifiesta en la secuencia vulcanosedimentaria con la presencia de estructuras que consisten en pliegues replegados, así como de tipo isoclinal recostado, cuyos ejes tienen una orientación general NW; ambos tipos de estructuras se presentan a la escala del afloramiento. Las fallas inversas son mayores y se observan en las inmediaciones de las localidades Las Amarillas y arroyo El Capulín (Carta Geológica-Minera F14-C32 Ibarra, escala 1:50000. SGM, 2005).

4.3. Geología del subsuelo

De acuerdo con la geología superficial y la información de algunos cortes litológicos se determina que el acuífero está constituido, en su porción superior, por depósitos aluviales y fluviales de granulometría variada, que conforman el relleno del valle, y en menor proporción materiales tobáceos y areniscas que constituyen el valle; este relleno tiene un espesor de 15 a 150 m.

La porción inferior se aloja en un medio fracturado conformado por rocas ígneas de composición riolítica (Riolita Panalillo, Ignimbrita Cantera, Ignimbrita Cuatralba y Riolita San Miguelito). Esta unidad constituye el acuífero regional que tiene mayor potencial hidrogeológico. El basamento del acuífero se localiza a profundidad mayor de 400 m y está constituido por rocas arcillosas que conforman el complejo vulcano-sedimentario de la Sierra de Guanajuato, por su naturaleza poco permeable o impermeable, constituyen barreras y fronteras al flujo del agua subterránea (figura 3).



Carta Geológica Minera F14-C32 Ibarra. Escala 1:50 000. SGM

Figura 3. Sección geológica esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Tipo de acuífero

Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten establecer que el sistema acuífero es de **tipo libre a semiconfinado** heterogéneo y anisótropo**,** conformado en su porción superior, por un medio granular constituido por depósitos aluviales y fluviales, así como como areniscas y conglomerados tobáceos; la porción inferior se aloja en un medio fracturado en rocas volcánicas, principalmente de composición riolítica y en menor proporción basáltica, que afloran en la mayor parte de su superficie.

Presenta condiciones locales de semiconfinamiento debido a la existencia de lentes de sedimentos arcillosos lacustres, depósitos tobáceos y calizas arcillosas, los cuales provocan el almacenamiento de agua a diferentes profundidades.

Las características litológicas de las diferentes unidades, permiten distinguir tres medios principales:

El medio poroso está constituido por materiales cuaternarios no consolidados que rellenan las fosas tectónicas del valle. En esta unidad se incluye a los depósitos aluviales, fluviales, abanicos aluviales, depósitos de pie de monte y material sedimentario del Cenozoico.

De acuerdo a las condiciones de depósito presenta propiedades hidráulicas heterogéneas con un espesor máximo de 200 m en las porciones más profundas.

El medio fracturado por donde se desplaza el agua subterránea está conformado por rocas volcánicas consolidadas como lavas e ignimbritas. Las evidencias que permiten determinar el desplazamiento preferencial del agua subterránea incluyen el tipo y densidad de fracturamiento, que se puede observar tanto a escala de afloramiento como a escala regional. El espesor conjunto de la secuencia volcánica que compone el medio fracturado es mayor a 500 m.

El medio fracturado de doble porosidad se caracteriza por la combinación de la permeabilidad intergranular con la de fracturas, corresponde a la presencia de tobas intercaladas en la secuencia volcánica; en este medio el agua de las fracturas circula más rápidamente, mientras que la contenida en la matriz porosa se mueve más lentamente, por lo que la respuesta a largo plazo en los pozos, está condicionada por el almacenamiento en la matriz granular.

5.2. Parámetros hidráulicos

No existe información de las propiedades hidráulicas de las unidades geológicas que conforman el acuífero obtenida de pruebas de bombeo. Sin embargo, de acuerdo con la evidencia geológica (litología y grado de fracturamiento), geofísicas (resistividad), por correlación hidrogeológica con acuíferos vecinos que presentan características similares (donde se realizaron pruebas de bombeo) y por el bajo rendimiento de los pozos (promedio de 5 lps), es posible adoptar valores aproximados.

Para el medio poroso la conductividad hidráulica promedio es de **1 x10^{-6} m/s y 1x10^{-5} m/s** para las rocas volcánicas. Los valores de transmisividad varían **de 3.0 x 10^{-4} a 1.0 x 10^{-3} m^2/s**, tomando en cuenta un espesor saturado de 80 a 100 m.

5.3. Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, sólo existe información del año 2009.

5.4. Comportamiento hidráulico

5.4.1. Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la configuración de profundidad al nivel estático, se observa que los valores varían de 120 a 270 m, incrementándose por efecto de la topografía desde el centro del valle hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero. Los valores más profundos, de 250 a 270 m, se registran en la porción centro-norte del acuífero, en las inmediaciones de las localidades Jacales, La Boquilla, La Cinta, Lagunilla, Puerto de Plata, El Conejo, Loma Bonita, La Corraleta, La Calavera, La Cantera, Villa del Sol, Arrona y Pozos de Cabras; los más someros se presentan al sur (figura 4).

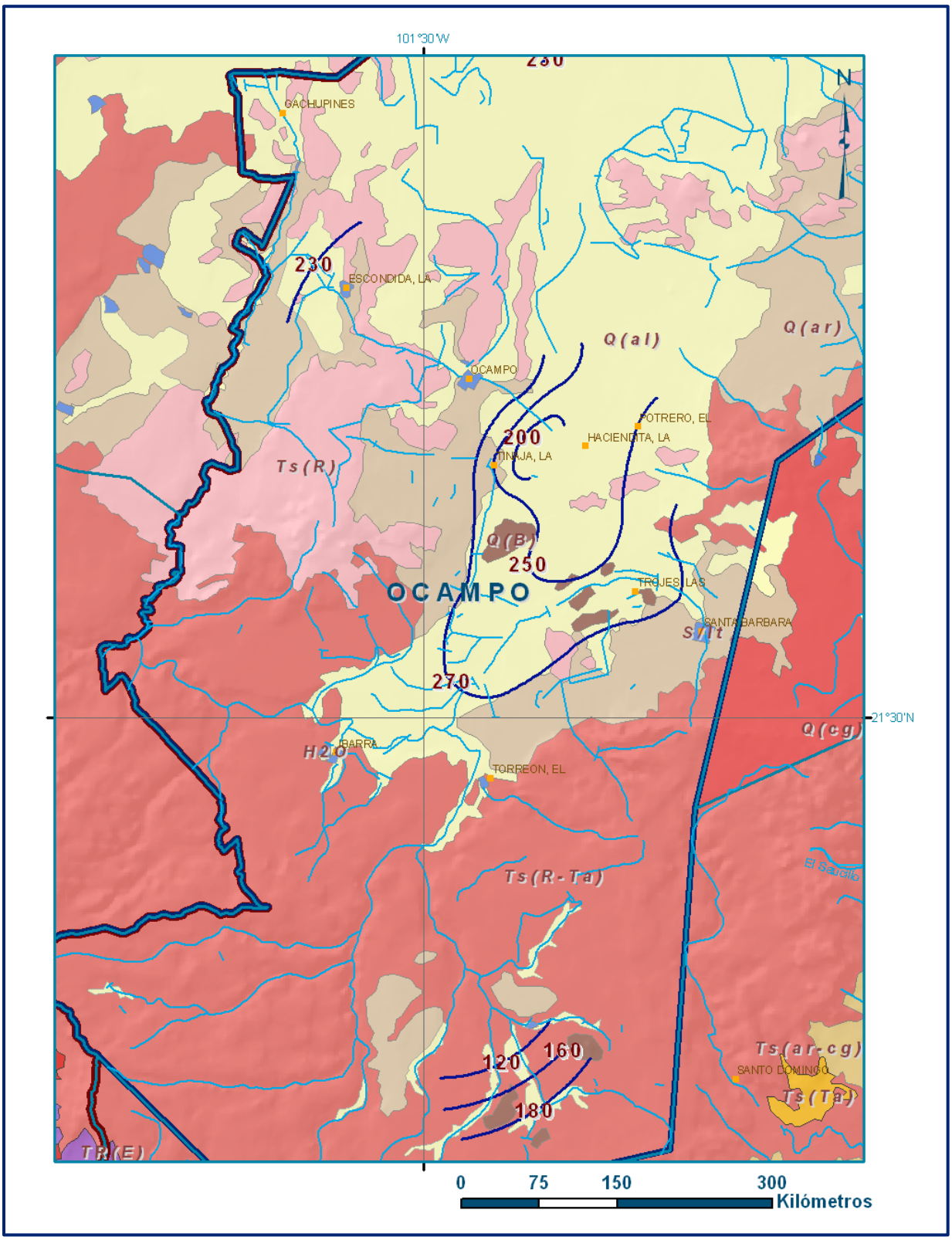


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2009)

5.4.2. Elevación del nivel estático

Los valores de la elevación del nivel estático, al igual que la profundidad, muestran el efecto de la topografía; el flujo del agua subterránea se presenta de las partes topográficamente más altas hacia las zonas más bajas en el valle, con dirección preferente de sur a norte.

Los valores de elevación varían de 2,250 a 1940 msnm; en la porción sureste del acuífero oscilan entre 2,260 y 2,100 msnm y en la porción central de 2,000 a 1,960 msnm; la zona con menor elevación se localiza en la porción noroeste del acuífero con elevaciones de 1,960 a 1,940 msnm, en esta zona se identifican las salidas por flujo subterráneo (figura 5).

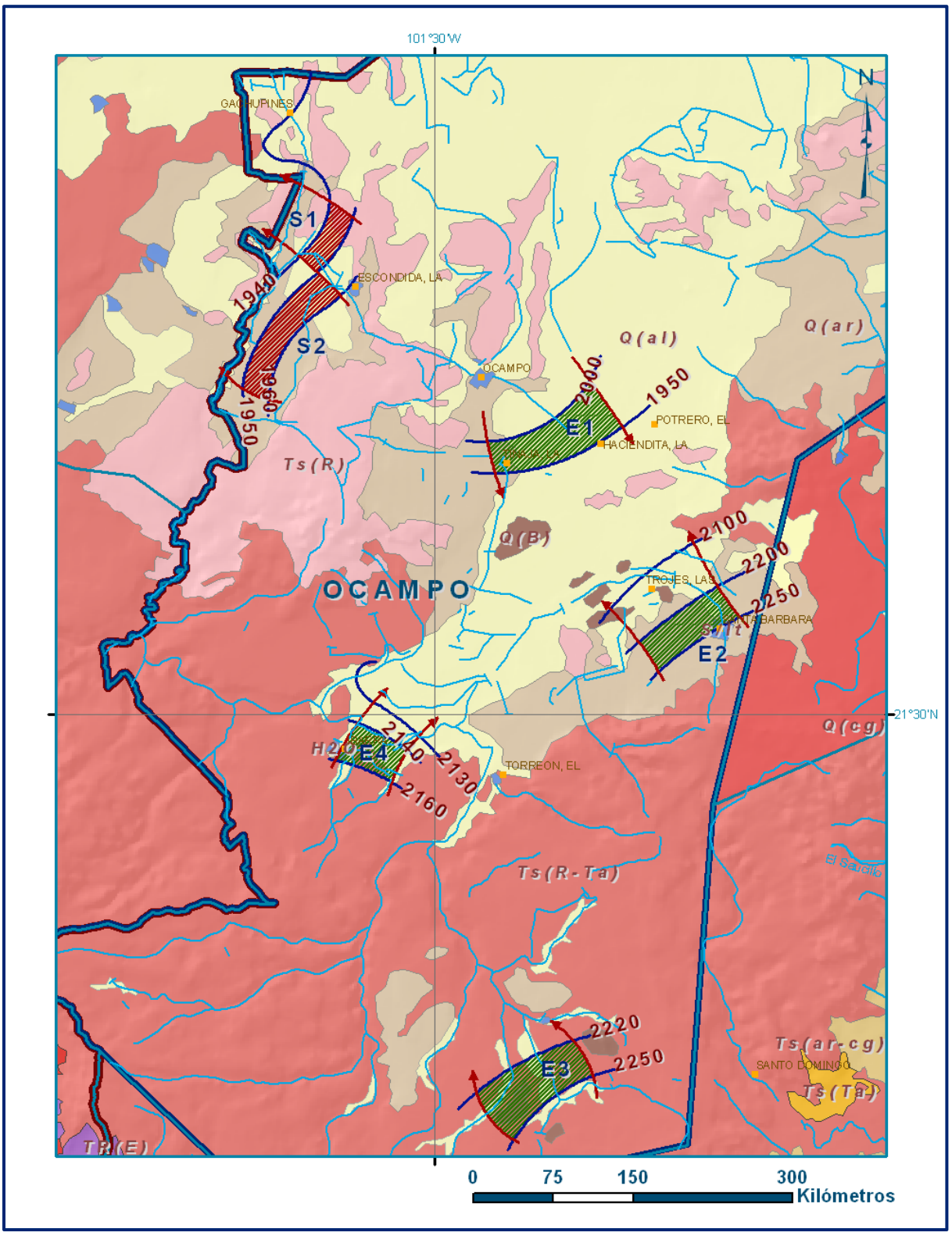


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2009)

5.4.3. Evolución del nivel estático

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita la configuración de evolución del nivel estático. 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 muestra 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.

5.5. Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo del estudio realizado en 1999, se tomaron 26 muestras de agua subterránea en aprovechamientos distribuidos en la zona del acuífero para su análisis fisicoquímico. Las determinaciones incluyeron: temperatura (°C), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (µs/cm) y sólidos totales disueltos (STD).

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presenta valores que varían de 40 a 322 mg/l, los cuales no sobrepasan el límite máximo permisible de 1,000 ppm establecido en 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. Los valores más bajos de salinidad se registraron en las norias.

De acuerdo con la temperatura del agua se distinguen dos grupos, uno que incluye las norias y algunos pozos profundos, en los que el agua presenta temperatura menor a 25°C; el otro grupo de muestras presenta temperaturas entre 25 y 40 °C.

Considerando la geología del subsuelo es posible determinar que el agua con menores temperaturas se asocia al medio granular compuesto por sedimentos continentales y el agua de mayor temperatura se encuentra alojada en el medio fracturado compuesto por rocas volcánicas terciarias.

El resultado de los análisis químicos, demuestra que algunas muestras rebasaron los límites máximos permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el agua destinada al consumo humano, específicamente en las concentraciones de hierro, magnesio y fluoruro, así como en los valores de pH.

Con respecto a las familias de agua predominantes, de acuerdo con los iones presentes, se presentan las familias bicarbonatada-mixta y bicarbonatada–sódica que representan agua de reciente infiltración, con periodos de residencia muy cortos, que ha circulado a través de rocas volcánicas.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2009, existe un total de 70 aprovechamientos, todos ellos activos, de los cuales 38 son norias, 23 pozos y 9 manantiales. Del total de obras, 4 se destinan a uso agrícola, 2 al uso pecuario, 38 para uso público-urbano y 26 otros usos.

La extracción total estimada es de **4.1 hm^3/año**, de los cuales 3.8 hm^3 (92.7 %) se destinan al uso público urbano, 0.2 hm^3 (4.9%) para uso agrícola y 0.1 hm^3 (2.4%) para uso doméstico. Adicionalmente, a través de manantiales se descarga un volumen de 0.2 hm^3 anuales que se destinan a los usos doméstico-abrevadero.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas se planteó para el periodo 2009-2010, en una superficie aproximada de **900 km^2** de la zona en la que están dispersos 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. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

Entradas (E) - Salidas (S) = Cambio de masa

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

Recarga total - Descarga total = Cambio de almacenamien

7.1. Entradas

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

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas y de la red de abastecimiento de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero.

Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). En este caso, debido a que el volumen de aguas destinado al uso agrícola es incipiente y no existen poblaciones importantes, se considera que no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que el cambio del cambio de almacenamiento (ΔVS) tiende a ser nulo, y se cuenta con información para calcular las entradas y las salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

$$\mathbf{Rv + Eh - B - Sh - Dm = \pm \Delta V(S)} \qquad \mathbf{(1)}$$

Donde:

Rv: Recarga vertical
Eh: Entradas por flujo subterráneo horizontal
B: Bombeo
Sh: Salidas por flujo subterráneo horizontal
Dm: Descarga de manantiales
ΔV(S): Cambio de almacenamiento

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

$$\mathbf{Rv = B + Dm + Sh \pm \Delta V(S) - Eh} \qquad \mathbf{(2)}$$

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 a lo largo 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:

$$Q = B * i * T$$

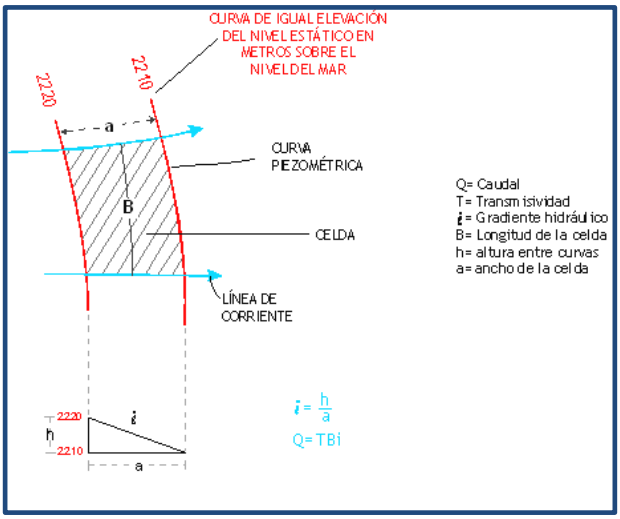
Donde:

Q = Caudal (m^3/s)

T = Transmisividad (m^2/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos, en la que se puede observar que su valor es de **4.7 anuales.**

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

CANAL	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	6215	2700	50	0.018519	0.0003	0.0345	1.1
E2	5135	1890	50	0.026455	0.0003	0.0408	1.3
E3	5405	2700	30	0.011111	0.0007	0.0420	1.3
E4	3515	1620	20	0.012346	0.0007	0.0304	1.0
						Total entradas	**4.7**

7.2. Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), salidas por flujo subterráneo (Sh) y a través de manantiales. No existen descargas por flujo base de ríos, ni por evapotranspiración.

7.2.1. Bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el volumen de extracción por bombeo es de **4.1 hm³/año.**

7.2.2. Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera que las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático presentada en la figura 5.

El valor calculado es de **2.1 hm³ anuales** (tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2010)

CANAL	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	2970	2000	10	0.005000	0.001	0.0149	0.5
S2	7030	1350	10	0.007407	0.001	0.0521	1.6
						Total entradas	**2.1**

7.2.3. Descarga de manantiales (Dm)

Se identificó la existencia de 9 pequeños manantiales, cuyo caudal conjunto de descarga es de 6.5 lps, que representan un volumen anual de **0.2 hm³**.

7.3. Cambio de almacenamiento ΔV(S)

Para la estimación del cambio de almacenamiento no se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar la configuración de evolución del nivel estático.

Los escasos datos se encuentran dispersos en el tiempo y no muestran cambios significativos en la posición de los niveles.

Adicionalmente 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 lo tanto, para fines del balance, se considera que el cambio de almacenamiento es nulo.

Por lo tanto: **ΔV(S) =0**

7.4. Solución de la ecuación de balance

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

$$\mathbf{Rv = B + Dm + Sh \pm \Delta V(S) - Eh \quad (2)}$$

Sustituyendo valores:

$$\mathbf{Rv= 4.1 + 0.2 + 2.1- 0.0 - 4.7}$$
$$\mathbf{Rv= 1.7\ hm^3/año}$$

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

$$R = Rv + Eh$$
$$R = 1.7 + 4.7$$
$$\mathbf{R = 6.4\ hm^3\ anuales}$$

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:

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA DEL SUBSUELO EN UN ACUÍFERO	**=**	RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL	**-**	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	**-**	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

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 a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero.

Para este caso la recarga total es de **6.4 hm³/año**.

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.

En este caso, su valor es de **0.2 hm³ anuales** que corresponde a la descarga a través de los manantiales.

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 **1,735,225 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 aguas subterráneas.

DMA = R – DNC – VEAS

DMA = 6.4 – 0.2 – 1.735225

DMA = 4.464775 hm³ anuales

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones **4,464,775 m³ anuales.**

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, 1981. Estudio servicios de prospección y levantamientos geofísicos y geológicos en la zona de San Felipe - Ocampo. Elaborado por Compañía Geohidrológica Mexicana, S.A.

Comisión Nacional del Agua, 1986. Estudio de Exploración Geofísica en la Zona de Ojuelos, Jalisco y Ocampo en Guanajuato. Elaborado por Geofísica de Exploraciones GUYSA. S.A. de C.V.