



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO CHUPADEROS (3226), ESTADO DE  
ZACATECAS**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
	Antecedentes.....	2
1.1	Localización.....	2
1.2	Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2</b>	<b>ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>7</b>
3.1	Provincia fisiográfica.....	7
3.2	Clima.....	9
3.3	Hidrografía .....	9
3.4	Geomorfología.....	10
<b>4</b>	<b>GEOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
4.1	Estratigrafía.....	14
4.2	Geología estructural .....	22
4.3	Geología del subsuelo .....	24
<b>5</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
5.1	Tipo de acuífero .....	25
5.2	Parámetros hidráulicos.....	25
5.3	Piezometría .....	26
5.4	Comportamiento hidráulico.....	26
5.4.1	Profundidad al nivel estático.....	26
5.4.2	Elevación del nivel estático.....	27
5.4.3	Evolución del nivel estático .....	29
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	30
<b>6</b>	<b>CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS .....</b>	<b>31</b>
7.1	Entradas .....	32
7.1.1	Recarga vertical (Rv).....	32
7.1.2	Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh) .....	33
7.1.3	Recarga incidental (Rr).....	34
7.2	Salidas.....	34
7.2.1	Extracción por bombeo (B).....	35
7.3	Cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ).....	35
<b>8</b>	<b>DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>36</b>
8.1	Recarga total media anual (R).....	36
8.2	Descarga natural comprometida (DNC).....	37
8.3	Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS) .....	37
8.4	Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	37
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>39</b>

## **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 Chupaderos, definido con la clave 3226 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oriental del estado de Zacatecas, en el límite con el estado de San Luis Potosí; entre los paralelos 22°42' y 23° 25' de latitud norte y entre los meridianos 102°07' y 102° 39' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 2,483 km<sup>2</sup>.

Limita al norte con el acuífero Guadalupe de las Corrientes, al noreste con Puerto Madero, al sureste con La Blanca, al sur con Ojocaliente, al suroeste con Guadalupe

Bañuelos y al oeste con el acuífero Calera, todos ellos pertenecientes al estado de Zacatecas; al este con el acuífero El Barril, perteneciente al estado de San Luis Potosí (figura 1). Geopolíticamente el área que cubre el acuífero comprende la mayor parte de los municipios Trancoso, Pánuco y Vetagrande; parcialmente Guadalupe, Fresnillo y Villa de Cos, así como pequeñas porciones de los municipios General Pánfilo Natera y Ojocaliente.

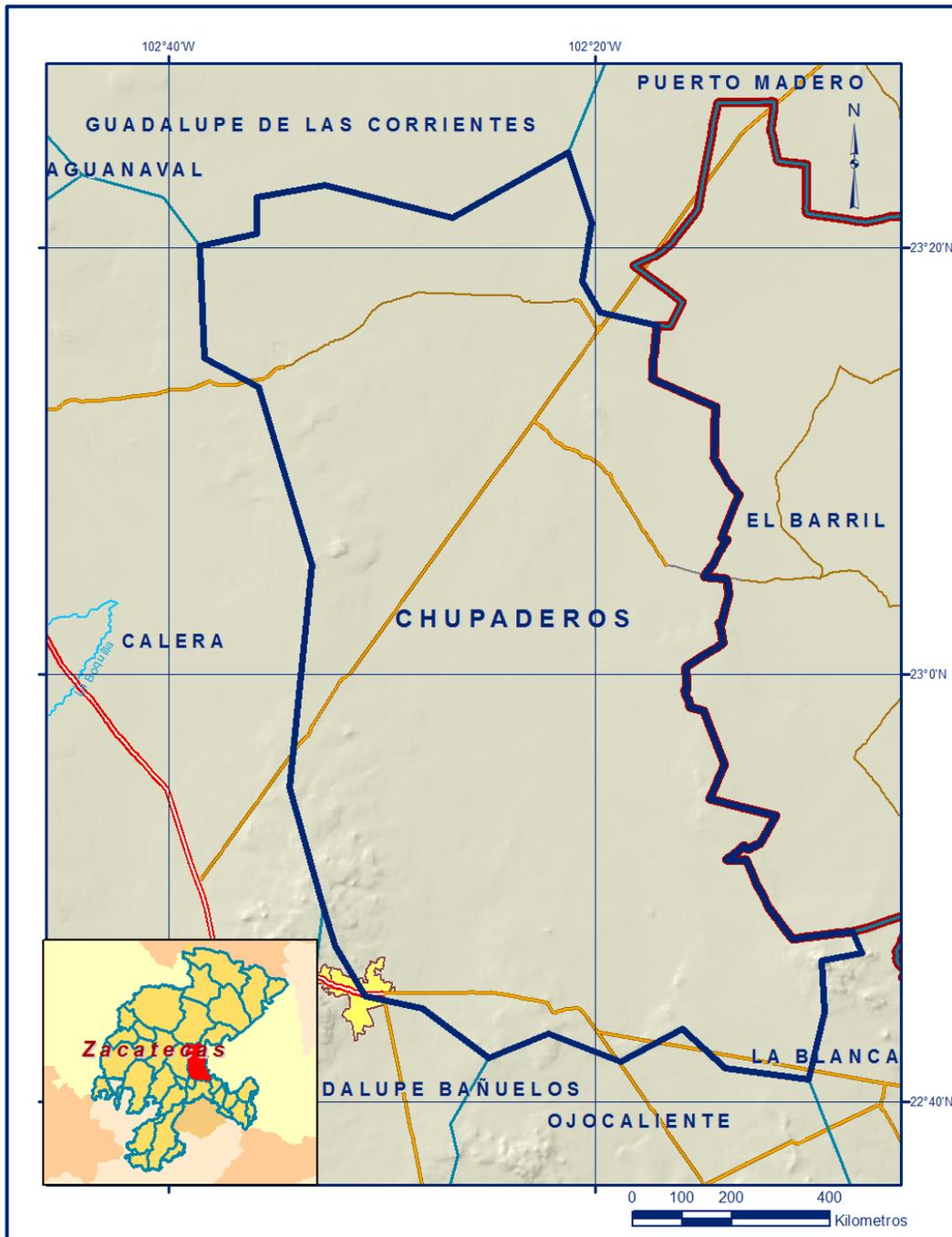


Figura 1. Localización del Acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas de la poligonal simplificada que delimitan al acuífero

ACUIFERO 3226 CHUPADEROS							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	9	212	22	46	34.6	
2	102	9	15.5	22	44	10.0	
3	102	9	58.4	22	41	12	
4	102	13	54.5	22	41	34.1	
5	102	15	54.7	22	43	22.9	
6	102	18	46.9	22	41	51.0	
7	102	22	114	22	43	11.7	
8	102	24	57.6	22	42	13	
9	102	28	5.0	22	44	21.7	
10	102	30	46.0	22	44	55.1	
11	102	32	9.2	22	47	14.7	
12	102	32	44.0	22	49	6.8	
13	102	34	18.2	22	54	43.4	
14	102	33	15.7	23	5	8.6	
15	102	35	45.8	23	13	28.7	
16	102	38	18.9	23	14	50.0	
17	102	38	31.9	23	20	5.3	
18	102	35	50.5	23	20	38.6	
19	102	35	50.5	23	22	23.1	
20	102	32	39.4	23	22	55.6	
21	102	26	42.1	23	21	25.5	
22	102	21	16.3	23	24	27.3	
23	102	20	10.3	23	21	10.5	
24	102	20	35.1	23	18	25.1	
25	102	19	46.1	23	16	59.6	
26	102	17	5.5	23	16	20.8	DEL 26 AL 27 POR EL LIMITE ESTATAL
27	102	7	55.5	22	47	58.1	
28	102	7	29.6	22	46	57.5	
1	102	9	212	22	46	34.6	

## 1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero pertenece al Organismo de Cuenca VII “Cuencas Centrales del Norte”, al Consejo de Cuenca Altiplano, instalado el 23 de noviembre de 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Zacatecas. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones de tres decretos de veda; el primero de ellos rige en la porción norte y es el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos de los municipios de Fresnillo y Villa de Cos, Zac., y se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en esos municipios”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de abril de 1981.

Esta veda es de tipo II en la que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos doméstico y abrevadero que se realicen por medios manuales.

El segundo decreto rige en una porción de la zona central del acuífero, y es el “Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la parte que corresponde al área no vedada de los municipios Pánuco y Guadalupe del estado de Zacatecas y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en el área que se menciona”, publicado en el DOF el 22 de octubre de 1984. El tercero está vigente en la porción central y sur y corresponde con el “Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona del estado de Zacatecas, que comprende la cuenca media del río Aguanaval y otros”, publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 16 de mayo de 1960. Ambos decretos son tipo III, en los que la capacidad de los mantos acuíferos 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 la superficie del acuífero no se localiza ningún distrito o unidad de riego; los usuarios se encuentran organizados en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del Acuífero Chupaderos, A.C., instalado el 24 de noviembre de 2000.

## **2 ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**

En el área que comprende el acuífero se han realizado varios estudios hidrogeológicos de evaluación; algunos de cobertura regional, entre los más importantes se mencionan los siguientes:

**INFORME FINAL DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE CHUPADEROS-VILLA DE COS, ZAC. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería S.A. en 1973, para la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH).** En este estudio se hace un análisis piezométrico, con la finalidad de conocer el abatimiento medio anual y la disponibilidad del agua subterránea; con base en los resultados de los análisis químicos determina que la calidad del agua es aceptable para el consumo humano. Finalmente, se interpretaron 13 pruebas de bombeo cuyos resultados se utilizaron para plantear el balance de aguas subterráneas y establecer que el acuífero se encontraba en condición geohidrológica de equilibrio.

**ACTIVIDADES DE CARÁCTER GEOHIDROLÓGICO EN LAS ZONAS DE CHUPADEROS, VILLA HIDALGO Y LA BLANCA, ZACATECAS. Realizado por Investigaciones**

**Técnicas del Subsuelo, S.A. en 1981, para la Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).** Este trabajo consideró la nivelación de 163 brocales de pozos, hidrometría de las extracciones y la realización de 39 pruebas de bombeo en toda la región. Con información de los cortes litológicos de algunos aprovechamientos y con base en la información geofísica generada, se definieron cinco unidades hidrogeológicas dentro del área de estudio.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO PRELIMINAR DE LA ZONA DE TRANCOSO, ZACATECAS. Realizado por Consultores, S.A. en 1982, para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).** En este estudio se hace análisis piezométrico para definir el tipo de acuífero y conocer su comportamiento a nivel regional. Se interpretaron 11 pruebas de bombeo y se hace una cuantificación del volumen anual de extracción. Además se reportan cortes litológicos de 8 aprovechamientos de aguas subterráneas. La información geológica es escasa.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO EN LA ZONA DE ZACATECAS, ZAC. Realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1996, para la Comisión Nacional del Agua.** El estudio comprendió los acuíferos Calera, Chupaderos, Benito Juárez y Guadalupe-Bañuelos. Los principales objetivos de estudio fueron definir las características geohidrológicas e hidrogeoquímicas del o los acuíferos con base en el análisis hidrogeoquímico de muestras de agua e información geológica existente. Define la dirección preferencial del flujo subterráneo, las zonas de recarga, la comunicación hidráulica con otros valles, las familias de aguas presentes en la zona y la calidad del agua subterránea. Identifica el tipo de materiales en los cuales se encuentra alojado el acuífero y las zonas que registraron los mayores abatimientos.

**ESTUDIO PARA LA REACTIVACIÓN DE REDES DE MONITOREO DE LOS ACUÍFEROS DE LOS VALLES DE: CALERA-BENITO JUÁREZ, CHUPADEROS, GUADALUPE BAÑUELOS, CUENCA DE AGUANAVAL, OJOCALIENTE Y LA BLANCA, EN EL ESTADO DE ZACATECAS. Realizado en 1997 por Estudios y Proyectos Moro, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua.** Define la red de monitoreo piezométrico, integrada por 33 pozos y propone la perforación de 17 piezómetros localizados en las zonas en las cuales se carece de información. Incluye configuraciones de los niveles estáticos para los años 1980 y 1997 con las que se identificaron las zonas de recarga y descarga del acuífero, las áreas de concentración de la extracción y las direcciones preferenciales del flujo subterráneo. Finalmente, con la información piezométrica de años previos, se definen las zonas en las que se presentan los mayores abatimientos.

**MODELO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE LOS ACUÍFEROS CHIHUAHUA-SACRAMENTO, CHIH., Y CHUPADEROS, ZAC. Elaborado por Ariel Consultores S.A., para la Comisión Nacional del Agua en 2001.** Su objetivo principal fue elaborar un modelo de flujo hidrodinámico que permitiera conocer las condiciones y efectos de las variables hidrológicas, tales como volumen de extracción, recarga natural e incidental, evapotranspiración, etc.; sobre el comportamiento del acuífero. Concluye que de continuar con la explotación del acuífero, se provocaría un abatimiento promedio anual de 1.5 m hasta el año 2025, que ocasionarán alteraciones negativas al medio ambiente, además de incrementos de costos por reposición de pozos, profundización y por consumo de energía eléctrica.

**PLAN DE MANEJO INTEGRAL DEL ACUÍFERO CHUPADEROS, ESTADO DE ZACATECAS. Realizado en 2010 por Ingeniería y Gestión Hídrica S.C. para la Comisión Nacional del Agua.** Su objetivo general fue formular un plan de integrado, para adecuar el desarrollo sustentable de la región a la disponibilidad del agua, enmarcado en el contexto de la política hidráulica nacional. Recopila información general y entre sus actividades más importantes destacan la caracterización y proyección de la demanda por uso, la proyección del volumen de agua utilizable y el balance integral del agua. El plan de manejo definido establece opciones de manejo de la demanda y de la disponibilidad, así como acciones para las diferentes alternativas, utilizando el modelo de simulación construido previamente.

**INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO CHUPADEROS, ZACATECAS. Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Zacatecas, 2015.** Se utilizó la información piezométrica reciente para la elaboración de las configuraciones del nivel estático. El último estudio y la piezometría obtenida por la Dirección Local Zacatecas, son 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 de E. Raisz (1964), el área que cubre el acuífero se ubica en la zona de conjunción de dos Provincias Fisiográficas.

La mayor parte de su territorio pertenece a la Mesa Central y sólo la porción suroccidental se ubica en la Sierra Madre Occidental. Por otro lado, de acuerdo con la regionalización fisiográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1981).

El acuífero se ubica en territorio de las Provincias Fisiográficas Mesa del Centro, Subprovincia Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas; y Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos.

Mesa Central es una gran cuenca rodeada por montañas más elevadas, más alta y más plana que la provincia Cuencas y Sierras, tiene áreas poco elevadas, disectadas por las rocas volcánicas. Se trata de una planicie elevada que se localiza en la parte central de México, más de la mitad de su superficie se encuentra por encima de la cota 2000 msnm y las elevaciones en su interior son moderadas, con desniveles inferiores a los 600 m. En la Subprovincia Llanuras y Sierras Potosino-Zacatecanas dominan extensos terrenos áridos con lomeríos en la porción noreste y sierras bajas en la región sureste.

En la región suroccidental existen dos llanuras aluviales de extensión considerable, pero lo que caracteriza a esta subprovincia, especialmente a su porción occidental, es la gran llanura desértica que se extiende en territorio del límite entre los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, con piso de caliche, que se localiza a una altitud promedio de 2,000 msnm.

La Sierra Madre Occidental se extiende en parte de los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco. Es un gran sistema montañoso que tiene su origen en el Terciario Inferior o Medio, cuando se inició la extrusión de gigantescos volúmenes de los materiales volcánicos que lo integran, cuyos espesores oscilan entre 1,500 y 1,800 m; en ella predominan rocas ácidas, ricas en sílice, e intermedias.

Por su parte, la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos se caracteriza por sus sierras altas, de 2,300 a 2,700 msnm, alargadas en sentido norte-sur, frecuentemente rematadas por mesetas que alternan con valles, también alargadas en esa misma dirección. Los pisos de los valles son de pendientes suaves, con mayor frecuencia presentan terrazas y lomeríos, que probablemente son producto de la erosión de antiguos pisos de valles más altos.

El drenaje se dirige a través de los valles hacia el noreste y sólo en su porción austral se encuentran algunas corrientes que desembocan hacia el sur, en los ríos Verde y Grande de Santiago.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por Enriqueta García en 1964 para las condiciones de la República Mexicana, en la mayor superficie del acuífero prevalece el clima semiseco templado B<sub>s</sub>1kw. clima seco estepario (BS), que corresponde con el más seco de este tipo de climas, subtipo semiseco (1), con grado de humedad mayor que 22.9 (coeficiente que resulta de la relación precipitación/temperatura). Su condición de temperatura (k), es una característica establecida considerando las temperaturas media anual del mes más frío y del más cálido, templado con verano cálido.

El régimen de lluvia (w), define el comportamiento de la lluvia durante el año, indica la temporada en la que se concentra la mayor cantidad, en este caso es en verano, cuando el mes de máxima precipitación cae dentro del período mayo-octubre, donde se recibe por lo menos diez veces mayor cantidad de precipitación que el mes más seco del año. El último término (w) indica que su porcentaje de lluvia invernal (cantidad de lluvia que se precipita en este periodo con respecto a la total anual), varía entre 5 y 10.2. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual que varía entre 18 y 22 °C, la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C, con invierno fresco y régimen de lluvias en verano.

La mayor precipitación se registra en la porción suroccidental, con valores del orden de 430 mm/año, mientras que los menores valores de presentan en la porción oriental con 360 mm/año. Para el periodo 1980-2009 la media anual fue de **395 mm/año** para toda la superficie del acuífero; la temporada de lluvias es de julio a septiembre y estiaje de octubre a junio. Del análisis de isotermas se observa que la temperatura media anual más alta, de 17.4 °C, se registra en la porción centro-nororiental, donde se localiza el poblado Villa de Cos, mientras que las temperaturas medias anuales más bajas se registran hacia las partes altas de las sierras localizadas en las porciones suroccidental y sur, con 14.4°C. La media anual ponderada en la región, para el periodo 1980-2009, fue de **16.3°C**.

### **3.3 Hidrografía**

El acuífero se ubica dentro de la Región Hidrológica No. 37 El Salado, cuenca Fresnillo-Yescas. Los escurrimientos originados dentro de su superficie son de carácter torrencial durante la época de lluvias y el agua es conducida hacia pequeñas lagunas, presas y bordos diseminados en todo el acuífero, que se secan en época de estiaje. Entre los arroyos de mayor importancia destacan los conocidos con los nombres de Guerreros, El Ranchito, La Saucedá, Hondo, Pánuco y Los Arados.

Salvo algunos bordos para abrevadero, no existe infraestructura hidráulica de mayor importancia en la zona. El sistema hidrográfico dominante en el área es el tipo dendrítico con corrientes irregulares y distintas direcciones, que en algunas regiones fluyen paralelamente.

### **3.4 Geomorfología**

En el área se identifican cuatro unidades geomorfológicas, las cuales se agrupan en: valles, lomeríos, sierras y algunas mesetas. La primera unidad geomorfológica cubre aproximadamente un 50% del total de la superficie del acuífero; se trata de un valle asimétrico de forma alargada, con una orientación hacia el NW, con un ligero cambio de dirección hacia el norte; su pendiente no excede 1° y se encuentra a una altitud comprendida entre 2000 y 2100 msnm.

Está constituido por material granular de textura variable, depositado en forma irregular, por lo que en algunas zonas el material se presenta más arenoso, como producto de la erosión de las zonas altas que lo delimitan.

Los lomeríos se encuentran distribuidos en la porción sur y norte del área, y están constituidos principalmente por rocas sedimentarias y en menor proporción por rocas volcánicas. Entre las formas topográficas que integran esta unidad se pueden citar las siguientes: Las Amapolas, El Muerto, Las Vacas, Azul, De la Cal, Matapulgas y Loma Peladero, entre otras. En la porción oriental de Trancoso los lomeríos se encuentran entre elevaciones que varían de 2,100 a 2,150 msnm; en tanto que en la región occidental oscilan entre 2,200 y 2,250 msnm; las pendientes presentan variaciones entre 0.5° y 4°.

Las sierras se encuentran distribuidas principalmente en las porciones oriental y occidental, orientadas hacia el norte y noroeste, respectivamente; se encuentran constituidas básicamente por rocas de la Formación Chilitos.

Las elevaciones que se presentan en la Sierra de Zacatecas alcanzan hasta 2,500 msnm, en tanto que en la sierra que se localiza en la región oriental, las elevaciones varían entre 2,200 y 2,600 msnm. Dentro del área de estudio esta unidad geomorfológica se define a partir de los 2,200 msnm en la porción occidental y de 2,100 msnm en la porción oriental.

Por último, las mesetas se localizan al sureste de Trancoso y están representadas por las mesetas La Caidilla, Mesa Alta, Lagunillas y Los Charcos; y algunas otras en la porción sur. Presentan elevaciones que varían entre 2,200 y 2,350 msnm; con pendientes hasta de 4° en las partes más suaves y 27° en sus flancos más abruptos. Se encuentran constituidas principalmente por materiales volcánicos de composición ácida.

#### **4 GEOLOGÍA**

El marco geológico regional de la zona en la que se ubica el acuífero está representado por los eventos relacionados con el establecimiento de la Sierra Madre Occidental y la evolución del Terreno Guerrero, que fue definido por Campa et al. (1983), los cuales presentan características litoestratigráficas diferentes. De esta manera, del Terreno Guerrero se presentan unidades metamorfizadas de edad Cretácico, y unidades de origen volcánico del Terciario pertenecientes a la Sierra Madre Occidental. Completan la columna unidades de edad cuaternaria que consisten en basaltos y materiales aluviales.

Las unidades litológicas que afloran en la región varían en edad del Triásico Superior al Holoceno. La unidad triásica se conoce como Formación Zacatecas, es una secuencia clástica de lutitas, areniscas y horizontes calcáreos con metamorfismo de facies de esquistos verdes que las ha transformado en filitas y metalutitas sericitizadas con nódulos de cuarzo, metareniscas, metatobas, metaconglomerados y metacalizas. Se localiza en la Estación Pimienta, Picones y en la zona de Loreto. Burckhardt y Scalia (1906) dataron con paleontología a la unidad en el Triásico Superior (Cárnico).

Es cubierta, por relación tectónica, por la Formación Chilitos constituida por filitas, lavas almohadilladas de composición andesítico-basáltica, con intercalaciones de areniscas, radiolaritas, lutitas, filitas, tobas y calizas-arcillosas, con metamorfismo de facies de esquistos verdes.

Localmente consta de cinco miembros: el más antiguo consiste de una secuencia de filitas muy deformadas que afloran en la porción sur; por su mayor grado de deformación, metamorfismo y posición estructural se considera la base de la Formación Chilitos con una edad del Jurásico superior (?). Este miembro está cubierto tectónicamente por un segundo miembro de lavas almohadilladas de composición andesítico-basáltica seguido por un paquete de lavas andesíticas con intercalaciones de calizas y por último una secuencia de areniscas, lutitas, filitas y tobas andesíticas.

La edad asignada para estos últimos cuatro miembros es del Cretácico Inferior, por posición estratigráfica y por correlación con unidades similares mencionadas por Cserna (1976), Cuevas et al. (1983-1986), Monod y Calvet (1990) y M. Yta (1992). Subyace por discordancia erosional al Conglomerado Rojo de Zacatecas y está afectada por los cuerpos riolíticos hipabisales presentes.

Del Terciario Inferior, se tiene el depósito de un conglomerado polimíctico nombrado por Edwards (1955), como Conglomerado Rojo de Zacatecas, el cual es correlacionable con el Conglomerado Rojo de Guanajuato. Esta unidad aflora de manera aislada y está compuesto por fragmentos de andesita-basaltos, metasedimentos, calizas, areniscas y cuarzo, cementados por calcita y arcilla, que en conjunto presentan color púrpura a naranja debido al contenido de hierro. Está en contacto transicional con las rocas volcánicas de composición andesítica y riolítica que lo cubren. La edad del Conglomerado Rojo de Zacatecas es Paleoceno-Eoceno, basado en sus relaciones estratigráficas y edades isotópicas de las rocas que lo sobreyacen.

Durante el Paleógeno, se presentan etapas de magmatismo en la mayor parte de México, que tuvieron su máximo período de actividad a partir de Eoceno (Demant y Robin, 1975) y que en la región están representadas por brechas volcánicas andesíticas y riolíticas, tobas, ignimbritas y pórfidos de composición riolítica.

La brecha volcánica riolítica, fue descrita por Ponce (1985), como una unidad piroclástica y vulcanoclástica, en el cerro Los Alamitos, arroyo La Barranca e inmediaciones de la Mesa La Virgen, al sur de la ciudad de Zacatecas. Consiste de una brecha de lapilli, tobas y depósitos de lahar estratificados de color rojizo. Su edad es del Eoceno inferior, con base en un estudio isotópico que le asigna 46.8 Ma (Damon en Ponce, 1985).

En el extremo sureste aflora una brecha andesítica que presenta una relación estratigráfica similar a la brecha riolítica, con la cual se correlaciona La unidad sobreyace, de manera concordante y transicional, con el Conglomerado Rojo de Zacatecas. Su contacto superior es discordante con las rocas volcánicas riolíticas. La ignimbrita-toba riolítica, aflora al sur y sureste, y se le asigna edad del Oligoceno, por estudio radiométrico el cual reporta 36.8 Ma (Damon en Ponce, 1985), marcando un "hiatus" de 10 Ma en la actividad volcánica (Carta Geológico-Minera F13-B58 Zacatecas. Escala 1:50,000, SGM, 1999).

Se presentan también diques que intrusionan a los domos y en general al evento riolítico, a la granodiorita y a las secuencias sedimentarias del Cretácico. Posterior a los eventos mencionados se emplazan diques de composición riolítica.

Durante el Oligoceno se emplazan diversos cuerpos hipabisales de composición riolítica, a manera de diques, domos y “plugs” en la Sierra de Zacatecas, los cuales afectaron a las rocas del Triásico y del Oligoceno.

En el Neógeno se extruyen basaltos fisurales de olivino y piroxeno, al sureste y norte del poblado Noria del Cerro de Santiago. Por posición estratigráfica se le asigna una edad del Mioceno. Discordantemente se depositaron areniscas y conglomerados polimícticos también del Neógeno. El Holoceno está representado por sedimentos lacustres. Su posición es discordante con los depósitos del Neógeno (Carta Geológico-Minera F13-B59 Zacatón. Escala 1:50,000, SGM, 2000)

Dentro de los valles existen acumulaciones de areniscas y conglomerados polimícticos mal cementados, compuestos por fragmentos de filitas, lutitas, andesitas, riolitas e ignimbritas en menor porción.

Cubren discordantemente a las unidades triásicas, jurásico-cretácicas, así como a las rocas sedimentarias y volcánicas del Terciario. Se les asigna una edad del Neógeno y se correlacionan con los sedimentos areno-conglomeráticos de la región de Aguascalientes y posiblemente de Guanajuato. En el Cuaternario se tienen gravas, arenas y limos en el cauce de arroyos (Figura 2).

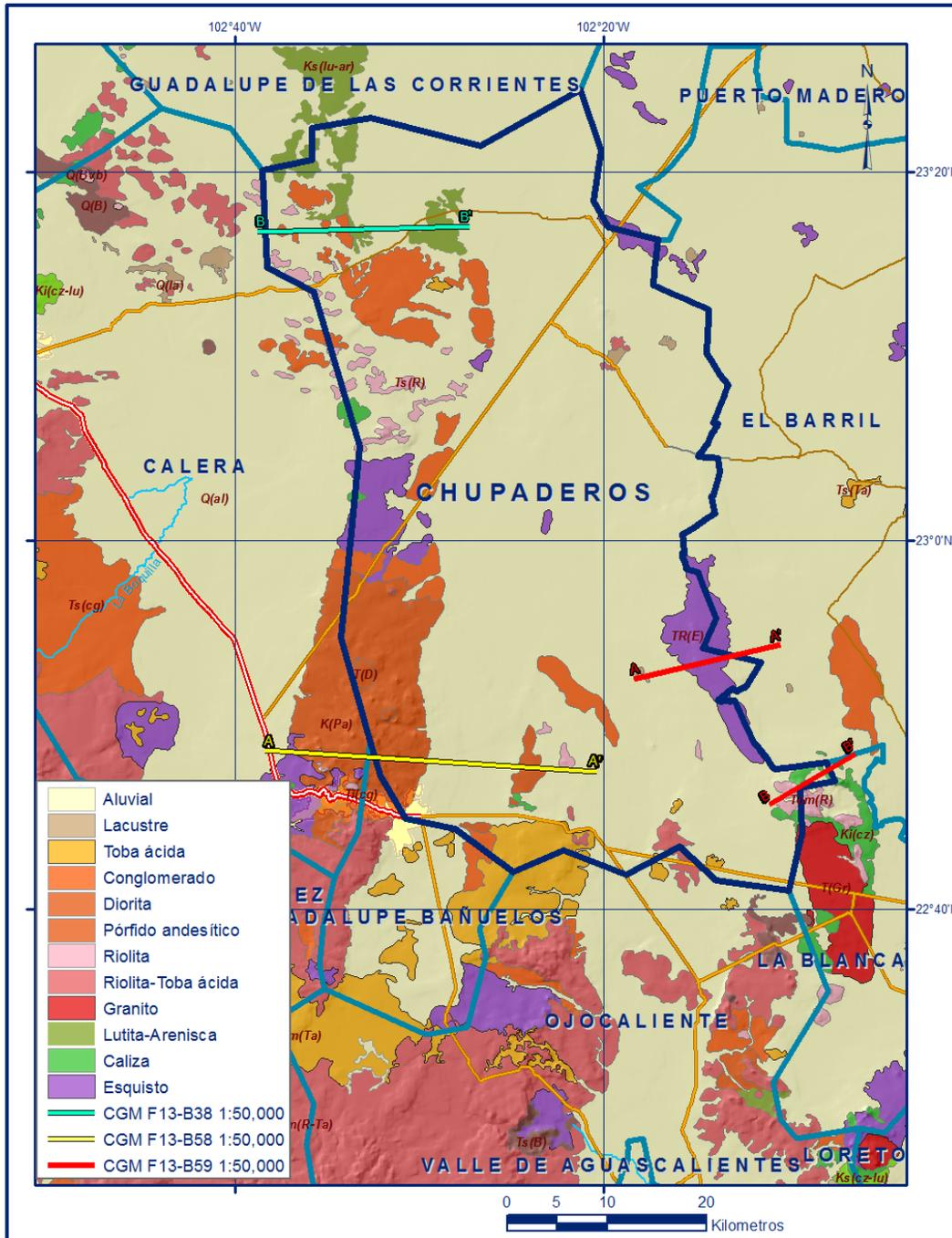


Figura 2. Geología general del acuífero

#### 4.1 Estratigrafía

Debido a la existencia de los elementos tectonoestratigráficos definidos anteriormente, la estratigrafía del área presenta diferencias notables en conformación. Por esta razón la descripción de las unidades se realiza de manera separada por elemento.

## **TERRENO GUERRERO**

### **JURÁSICO-CRETÁCICO INFERIOR**

#### **Formación Chilitos**

Término informal propuesto por De Cserna (1972) para denominar a una secuencia vulcanosedimentaria conformada por lavas masivas y almohadilladas de composición basáltica-andesítica, con intercalaciones de rocas sedimentarias, vulcanoclásticas y calcáreas, metamorizadas en facies de esquistos verdes, que cabalgan a la Formación Zacatecas, cuya edad tentativamente se le asignó al Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Esta unidad es la principal receptora de los yacimientos de oro, plata y polimetálicos. Los principales afloramientos de esta unidad se ubican en la porción sureste del área, conformando la sierra ubicada al este del poblado Casa Blanca y el frente norte de los cerros El Águila y El Potosí, así como en las lomas localizadas al oriente del poblado Zoquite, y finalmente en la porción oriental de la sierra de Zacatecas.

Las andesitas presentan un color verde, estructura masiva y textura porfídica. Intercalada con las rocas metavolcánicas se observan filitas de color verde, ligeramente silicificadas, con alto grado de alteración por intemperismo que ocasionan una coloración parda rojiza del suelo. Por la deformación en forma de cabalgaduras no es posible determinar su espesor. Se encuentra cubriendo a las rocas de la Formación Zacatecas por medio de un contacto tectónico, y subyaciendo concordantemente a las rocas calcáreas del Cretácico Inferior.

Estas rocas se encuentran interdigitadas con una secuencia de areniscas y calizas que corresponden a la **Formación Valdecañas**, que afloran al norte del acuífero. Ambas formaciones presentan intensa deformación y un metamorfismo regional incipiente, cuya edad tiene un alcance del Tithoniano al Berriasiano. De acuerdo con el SGM (1991), la edad de estas formaciones ha sido determinada con base en su contenido faunístico, consistente en amonitas colectadas en el arroyo Chilitos y radiolarios colectados en Pánfilo Natera, y se le ha asignado una edad del Cretácico Inferior, correlacionada con la Formación Taraises del Terreno Sierra Madre.

## **TERRENO SIERRA MADRE (CUENCA MESOZOICA DEL CENTRO DE MÉXICO)**

### **TRIÁSICO SUPERIOR**

#### **Formación Zacatecas**

Nombre con el que Carrillo Bravo (1971) se refirió a una secuencia de filitas y metalutitas sericitizadas con nódulos de cuarzo, meta-areniscas, metatobas, metaconglomerados y metacalizas, interestratificadas con filitas, sobre las cuales sobreyacen

transicionalmente metalavas de composición andesítico-basáltica; todas ellas con metamorfismo de facies de esquistos verdes, que afloran al noroeste y sureste de la ciudad de Zacatecas. Con base en los restos fósiles Burckhardt y Scalia (1906), la dataron en el Triásico Superior. Dentro del área de estudio se encuentran distribuidas principalmente al norte y noroeste del poblado Guadalupe.

Litológicamente está constituida por intercalaciones de estratos delgados de filitas, pizarras, capas gruesas y medias de cuarcitas y calizas. Las filitas son de color gris verdoso, con algunas tonalidades ocasionadas por el contenido de hematita diseminada; en lo que respecta a las pizarras, en ocasiones se encuentran silicificadas, son de color verde y se encuentran alternando con horizontes arcillosos. Las cuarcitas son de color gris rosáceo amarillento, muy compactas; las calizas se presentan en forma de cuerpos lenticulares, de color gris y se encuentran recrystalizadas.

En las cuarcitas y filitas se llegan a presentar lentes de cuarzo lechoso, seguramente producto de los procesos hidrotermales. En los trabajos consultados no se tiene reportado el espesor de la unidad, por lo que se asume que su potencia corresponde con los 1,000 m que le asignó Mc Ghee en 1977. La base de la unidad no se observa, en tanto que su contacto superior con la Formación Chilitos es tectónico (Centeno, 1997). La edad estimada para esta formación es del Triásico Superior. Su depósito se considera que ocurrió en un ambiente marino marginal.

## **CRETÁCICO INFERIOR**

### **Calizas y lutitas**

Nombre informal utilizado por el SGM (1998), para definir una secuencia flyschoides calcárea con nódulos, lentes y bandas de pedernal negro, intercaladas con estratos de lutita, que se encuentra aflorando al norte del poblado Las Cuatas, en el cerro Los Alejos así como bordeando el cerro El Águila.

Las rocas tienen regularmente una estratificación delgada, son de color gris y presentan fallas de bajo ángulo y pliegues totalmente tumbados. En la porción norte, la secuencia presenta cambios de facies, tornándose las rocas más arenopelíticas; estructuralmente no ha sido posible determinar su espesor debido al estilo de deformación dúctil que presentan las rocas. Sobreyacen mediante una discordancia petrológica a las rocas de la Formación Chilitos, en tanto que su contacto superior con las areniscas y lutitas del Cretácico Superior no se observa. Con base en su contenido faunístico se le ha asignado una edad que comprende del Neocomiano al Cenomaniano (SGM, 1998).

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **Areniscas y lutitas**

Término informal para denominar a una secuencia de intercalaciones de areniscas, lutitas y limolitas dispuestas en capas de espesor medio a delgado.

Dentro del área del acuífero sus afloramientos se restringen a la porción norte, en las inmediaciones de la Laguna Colorada y Charco Blanco. Litológicamente, presenta algunas variaciones pero en general está constituida por un flysch de alternancia rítmica de grauvacas de grano fino a medio, en estratos delgados a medianos con intercalaciones de lutitas, lutitas calcáreas, limolitas, limolitas arenosas y ocasionalmente calizas lenticulares; su coloración varía de gris oscuro a casi negro, con tintes verdosos; por intemperismo adquiere una coloración amarillenta y ocre; con escaso el contenido faunístico.

De acuerdo a su posición estratigráfica el SGM (1991), le asigna una edad que abarca del Coniaciano al Santoniano. Por otro lado, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1996) reporta una edad del Cretácico Superior (Aptiano Tardío-Turoniano), basada en el contenido fósil de amonoideos.

## **TERCIARIO**

### **Conglomerado Rojo Zacatecas**

Ponce y Clark (1988), asignan con este nombre a un depósito fluvial conglomerático de matriz rojiza, de origen poligenético. Los principales afloramientos se presentan al sureste de la sierra de Zacatecas, en las inmediaciones del poblado La Zacatecana y la laguna El Pedernalillo y entre las ciudades de Zacatecas y Guadalupe.

Se encuentra constituido principalmente por guijas y cantos de esquistos, filitas, andesitas y basaltos, cantidades subordinadas de rocas riolíticas y fragmentos de rocas graníticas, areniscas, calizas y pedernal, con cementante arcillo-calcáreo que en conjunto presentan un color púrpura a naranja, debido a su contenido de hierro. Su contacto inferior es discordante con la secuencia vulcanosedimentaria del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

La edad que se le asigna es Paleoceno-Eoceno, basado principalmente en las relaciones estratigráficas y en edades isotópicas.

## **TERRENO SIERRA MADRE**

### **CRETÁCICO SUPERIOR**

#### **Granodiorita**

Para esta unidad existe muy poca información en la literatura geológica, el SGM (1991), menciona que en el estado de Zacatecas existen aproximadamente 20 afloramientos de rocas intrusivas de más de 1 km<sup>2</sup> de extensión superficial, cuya composición es principalmente granodiorítica y que presenta variaciones entre granitos, cuarzomonzonitas y sienitas.

La forma de estos intrusivos es irregular, con tendencia a semicircular y ovoide que forman troncos acompañados de apófisis, diques y dique-estratos de la misma composición o muy semejante a la de los plutones que en todos los casos están intrusionando las rocas mesozoicas.

En el área de Pánfilo Natera aflora el intrusivo de mayor extensión superficial en el estado de Zacatecas; cubriendo un área de unos 100 km<sup>2</sup>, forma un semi-rectángulo con orientación casi norte-sur, de 20 km de largo por 6 de ancho. El SGM (1997), menciona que el Mesozoico culmina con el emplazamiento de un intrusivo granodiorítico cuya datación radiométrica (Mújica y Albarrán 1983), lo ubican en el Cretácico Superior.

## **TERCIARIO**

### **Ignimbritas y riolitas**

Con este nombre se identifica a un grupo de flujos piroclásticos soldados (ignimbritas), asociados con flujos de lava riolítica que se encuentran aflorando en el extremo sur del acuífero, en las inmediaciones del poblado Trancoso, y un pequeño afloramiento en la porción norte, en las inmediaciones de Chupaderos. Las ignimbritas presentan color gris o pardo con un aspecto masivo, frecuentemente con oquedades o vesículas producidas por la alteración de los feldespatos, además de un incipiente bandeamiento; en una matriz afanítica, aunque es posible observar fragmentos de pómez aplanados.

Están emplazadas en forma de cuerpos tabulares de unos cuantos metros de espesor, que conforman mesetas de escasa altura con un fracturamiento vertical intenso que da lugar a los típicos escarpes de ignimbritas.; estas rocas son las que se encuentran conformando la unidad geomorfológica de las mesetas, localizadas en las inmediaciones de Trancoso

En lo que respecta a los flujos de lavas, se caracterizan por presentar estructura fluidal, en ocasiones en forma de bandas muy finas, de color rosa grisáceo o rosa pardusco, con pequeñas vesículas producidas por el escape de gases; con matriz afanítica que contiene abundantes fenocristales de cuarzo y en menor proporción plagioclasas. De manera general, estas rocas son muy compactas y resistentes a la erosión, presentan baja permeabilidad y porosidad, y exhiben un bajo grado de fracturamiento. Su espesor estimado es de aproximadamente 100 m, los más potentes se observan en las áreas donde se presentan los derrames de riolitas asociadas a las estructuras dómicas.

Esta unidad sobreyace en discordancia petrológica al Conglomerado Rojo Zacatecas. El emplazamiento de estos materiales volcánicos se asocia a la emisión de flujos piroclásticos y flujos de lava que ocurrieron en el Oligoceno, que forman parte de la secuencia volcánica de la Sierra Madre Occidental. El SGM (1997) le asigna una edad del Oligoceno-Mioceno.

### **Tobas Riolíticas**

Este término se ha utiliza para describir a un paquete de flujos piroclásticos que descansan sobre la unidad de ignimbritas-riolitas, que afloran principalmente al sur del poblado Guadalupe. Está conformada principalmente por flujos piroclásticos que forman horizontes de estructura masiva, hasta de 6 m de espesor, de color crema amarillento y en ocasiones pardusco; textura arenosa, aunque comúnmente se observan fragmentos líticos de hasta 15 cm de diámetro, en una matriz de arenas finas integrada por fragmentos de pómez, cuarzo, vidrio y líticos.

De manera general, estas rocas se encuentran compactas y son moderadamente resistentes a la erosión. Frecuentemente presentan fracturas, algunas de ellas se encuentran rellenas por material piroclástico más fino a manera de "diques"; también se caracterizan por presentar lapillis acorazados y armados, con una estructura granular y de concreciones sobre la superficie de la roca.

Con base en su posición estructural, en la porción suroccidental del acuífero Chupaderos se estimó un espesor de 300 m. Su asociación con el resto de las unidades volcánicas de la región, correspondientes con el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, ha permitido considerar una edad para estas rocas del Oligoceno Superior al Mioceno Superior.

### **Pórfido riolítico y Pórfido andesítico**

Contemporánea a la actividad que dio origen a la secuencia de riolitas e ignimbritas, tuvieron lugar las intrusiones hipabisales ácidas e intermedias que afectaron a la secuencia e influyeron en los procesos mineralizantes de la región (SGM, 1997).

Por otro lado, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1996), menciona que en el Cerro la Bufa, localizado al norte de la Ciudad de Zacatecas, se encuentra un domo riolítico de textura fluidal, el cual está expuesto en una distancia vertical de 40 m, y visto en planta abarca una superficie de 1150 x 100 m, en tanto que en el Cerro el Águila, localizado en el extremo suroriental del área, existen buenos afloramientos de estas rocas.

En lo que respecta al pórfido andesítico, su distribución dentro del área del acuífero está restringida a un pequeño afloramiento localizado al este del poblado Hacienda Nueva, ubicado al noroeste de la Ciudad de Zacatecas.

De acuerdo con la descripción de Pérez-Martínez et al. (1961), su emplazamiento inició como un dique paralelo con la Veta Cantera. Por su correlación con la secuencia de riolitas e ignimbritas, el SGM (1997) le asigna una edad que varía entre los 23 y 34 ma, ubicándolos en el Oligoceno-Mioceno.

### **Conglomerado Polimíctico**

#### **Formación Santa Inés**

El término formacional de esta unidad fue propuesto por Pantoja (1963) para designar a las rocas conglomeráticas de origen continental que afloran en las cercanías de San Pedro El Gallo, Durango. En la región se encuentran distribuidas en la mayor parte de las sierras formadas por rocas volcánicas terciarias (series volcánicas inferior y superior).

Está constituida por conglomerados de rocas volcánicas, que en su contacto con las rocas subyacentes presenta capas arenosas de color rojizo, así como limos de color blanquecino, secuencia que paulatinamente cambia a conglomerados hacia la cima.

Los constituyentes del conglomerado presentan fragmentos cuya granulometría varía desde arenas hasta bloques de 50 cm de diámetro, el grado de redondez varía de redondeado a subredondeado, generalmente con escaso cementante, aunque en algunas localidades puede estar bien cementado; generalmente presenta matriz arenosa y la compactación varía con la profundidad del material, por lo que en superficie se presenta con baja compactación.

El espesor de la unidad es muy variable y depende de su distribución geográfica; los espesores mínimos se encuentran en las bases de las sierras, en tanto que en las porciones más bajas del valle su espesor rebasa los 300 m.

De acuerdo con su génesis y características litoestratigráficas, se considera de edad Plioceno-Pleistoceno, aunque si se considera que los basaltos interestratificados son del Paleógeno, su edad puede abarcar desde el Mioceno. Por la similitud litológica y relación estratigráfica, se correlaciona con la Formación Los Llanos, asignándole una edad correspondiente al Plioceno Tardío.

### **Conglomerado Polimíctico**

Al norte de González Ortega se encuentra aflorando un conglomerado polimíctico, con fragmentos de filita, cuarcita, arenisca, caliza y riolita, que cambian de facies a areniscas y conglomerado volcánico con fragmentos de riolita, toba ácida y vidrio volcánico, con interdigitaciones de tobas ácidas. Los espesores que han sido determinados son variables; Edwards (1955) reporta un espesor de 418 m, mientras que Ocejo (1979) reportó un espesor de 400 m y finalmente Ponce (1985) reporta un espesor de 223 m. Por estar asociado a los rellenos de las fosas que afectan a las rocas volcánicas se le asignado una edad correspondiente al Neógeno.

## **CUATERNARIO**

### **Aluvión**

Los depósitos de origen aluvial están compuestos por materiales que son producto de la denudación de rocas preexistentes. Se encuentran distribuidos en zonas de pie de monte y en los lechos de cauces, arroyos y zonas topográficamente bajas, formando en ocasiones estructuras de abanicos aluviales; ocupan más del 60% del territorio del acuífero. Comprenden materiales detríticos en proceso de consolidación y están constituidos principalmente por intercalaciones de gravas y arenas con horizontes de arcilla y limo, en una matriz calcárea; generalmente el material está mal clasificado, no consolidado o con escasa compactación.

Se encuentran distribuidos por toda el área de estudio cubriendo a las rocas más antiguas por medio de discordancias angulares y petrológicas. Los materiales detríticos más gruesos se encuentran en las laderas de las montañas y hacia los valles disminuye la granulometría hasta convertirse en arenas y arcillas. Los sedimentos presentan variaciones en cuanto a textura, estructura, color, etc., dependiendo de la forma de depósito.

## **Depósitos lacustres**

Depósitos continentales que se encuentran distribuidos principalmente al norte del acuífero, en las lagunas Sedano y Santa Ana, en las que se han acumulado sedimentos arcillosos finos, de color gris amarillento, así como depósitos de limos, que rellenan los valles, depresiones y zonas topográficamente más bajas.

## **4.2 Geología estructural**

En las rocas mesozoicas se presenta deformación dúctil, con desarrollo de una superficie de anisotropía asociada a plegamientos isoclinales y cabalgaduras con vergencia predominante al noroeste. A una escala mayor se puede observar un complejo sistema de apilamiento de cabalgaduras, con deformación interna dúctil en los bloques mecánicos rodeados de cabalgaduras. Se considera que esta deformación fue producida durante la deformación laramídica, por la colisión del Terreno Guerrero contra el Terreno Sierra Madre.

Un evento transtensivo posterior originó fallas laterales con componente normal, el sentido de la componente lateral es difícil de establecer ya que estas fallas han sido rejugadas, sin embargo, se puede mencionar de manera preliminar una componente izquierda, que es necesario verificar en trabajos más especializados.

Asociados a estas estructuras se tienen domos, “plugs”, diques y las vetas características de Zacatecas. Se sobrepone a las estructuras anteriores un sistema distensivo que originó fosas y pilares limitados por fallas normales escalonadas. Presenta un rumbo predominante nor-noreste y noreste con longitudes de 5 a 25 km y de 1 a 15 km, respectivamente.

La estructura que domina la región está en la porción norte de la Sierra de Zacatecas, se trata de un pilar alineado con dirección nor-noreste, que está limitado por fallas normales (Carta Geológico-Minera F13-B58 Zacatecas. Escala 1:50,000, SGM, 1999).

La zona norte del acuífero se caracteriza por la presencia errática de plegamientos, en general todas las unidades de roca se encuentran cubiertas por una cubierta petrocálcica (caliche), que hace difícil observar afloramientos y por lo tanto tomar datos estructurales. No obstante, se logró identificar, dentro de la deformación dúctil los sinclinales El Pelotazo y San Tadeo, en las formaciones Valdecañas y Chilitos, respectivamente, y el anticlinal Las Flores ubicado entre los estos sinclinales.

De acuerdo con el análisis de la imagen de satélite, se observa que el área de estudio manifiesta las estructuras asociadas con una tectónica distensiva, la cual configuró una serie de altos y bajos estructurales, que resaltan debido a los contrastes topográficos que configuran el terreno; sin embargo, salvo estas estructuras, gran parte de área está conformada por zonas de escaso relieve, lo cual es un reflejo de su estado de madurez geomorfológica.

Los bloques estructurales definidos por el patrón de fallas normales, presentan generalmente una tendencia NNE y llegan a tener longitudes mayores a los 20 km.

La generación de estructuras producidas por la deformación dúctil se localiza en la porción occidental del área de estudio, en la sierra de Zacatecas, así como en el cerro El Águila y los afloramientos de la secuencia vulcanoclástica metamorfizada de la Formación Chilitos.

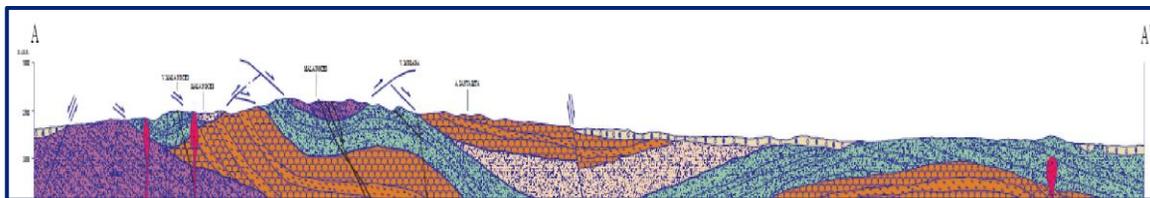
Las rocas de esta unidad tienen una foliación bien desarrollada, formada por la orientación preferencial de los minerales. Asociada con estas estructuras, se manifiestan fallas inversas cuyos planos presentan un cierto paralelismo con la foliación, y en algunas áreas presentan diferentes orientaciones con respecto a esta estructura planar, logrando distinguir en algunas localidades sistemas de fallas inversas tipo “duplex”, que juegan un papel importante en el mecanismo de deformación de este terreno tectonoestratigráfico. Con lo anterior, se considera que las rocas ubicadas dentro de este terreno han sufrido más de un episodio o fase de deformación.

Las estructuras regionales derivadas de la deformación frágil se encuentran estrechamente relacionadas con la tectónica distensiva, que de acuerdo con Aranda G., et al. (1989), afectó el extremo suroriental de la Sierra Madre Occidental y la porción meridional de la Mesa Central, desde el Eoceno hasta el Reciente; asimismo, se han distinguido también estructuras asociadas con este tipo de deformación en los afloramientos de la secuencia vulcanoclástica de la Formación Chilitos. Por otra parte, se piensa que las rocas volcánicas que conforman las mesetas localizadas en las inmediaciones de Trancoso y los cerros ubicados al norte de la sierra de Zacatecas, tienen una relación estrecha con los movimientos distensivos, en los que los sistemas de fracturas profundas fueron los conductos del magma que configuró estos edificios volcánicos.

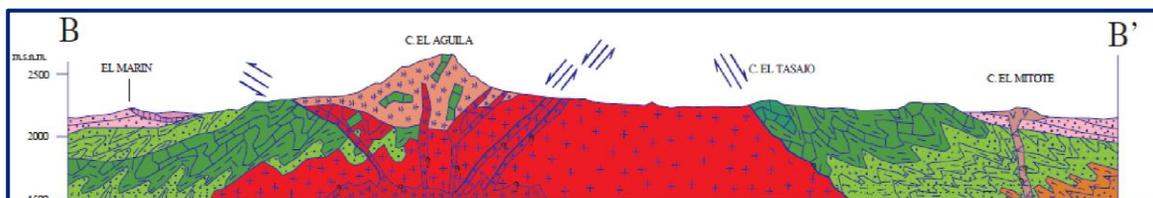
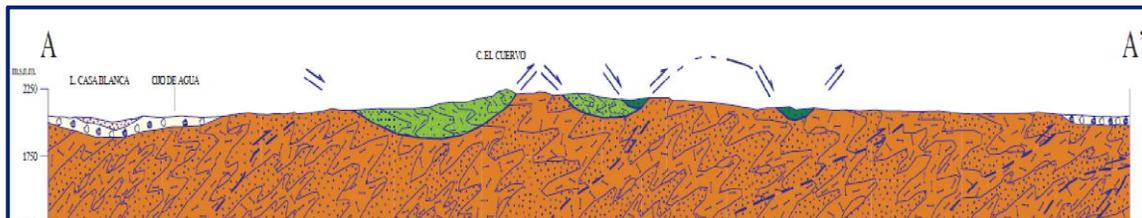
### 4.3 Geología del subsuelo

Con base en el análisis de la información de las unidades geológicas que afloran en el acuífero, así como de la información proporcionada por los cortes litológicos de pozos y por correlación con acuíferos vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los depósitos granulares de origen aluvial y fluvial de granulometría variada, conglomerados polimícticos y depósitos lacustres que rellenan los valles.

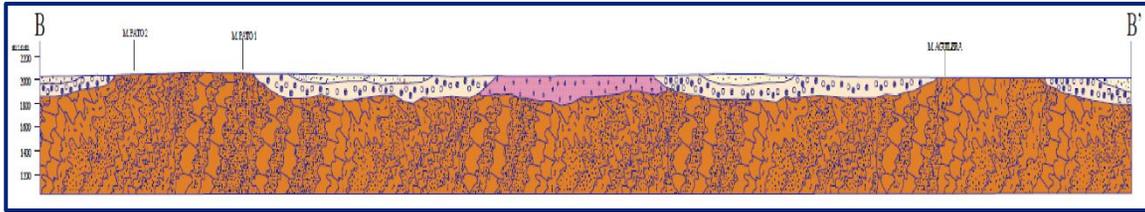
La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas de composición riolítica, entre las que predominan las tobas ácidas, riolitas e ignimbritas, y rocas sedimentarias (calizas, lutitas y areniscas) que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las calizas y areniscas representan un acuífero potencial que puede presentar condiciones de semiconfinamiento, debido a que están sobreyacidas y alternadas por lutitas y limolitas. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento, por rocas metamórficas y metasedimentarias, las secuencias vulcanosedimentarias de formaciones Zacatecas y Chilitos, las rocas arcillosas del Cretácico Inferior, el Conglomerado Rojo Zacatecas y localmente por rocas intrusivas (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-B58, Zacatecas. Esc. 1:50,000 (SGM, 1999)



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-B59, Zacatón. Esc. 1:50,000 (SGM, 2000)



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-B38, Villa de Cos. Esc. 1:50,000 (SGM, 2009)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

## 5 HIDROGEOLOGÍA

### 5.1 Tipo de acuífero

Con base en el comportamiento espacial de los materiales que integran el subsuelo del acuífero y considerando la información geológica, geofísica, hidrogeológica y piezométrica existente, se puede establecer la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada, conglomerados y depósitos lacustres, cuyo espesor puede alcanzar hasta 400 m en el centro de los valles tectónicos.

La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. A mayor profundidad las calizas y areniscas representan un acuífero potencial que puede presentar condiciones de **semiconfinamiento**, debido a que están sobreyacidas y alternadas con lutitas y limolitas. Se pueden distinguir tres medios diferentes por donde circula el agua subterránea: El medio poroso con permeabilidad primaria y secundaria e intergranular y de fracturas, el medio fracturado con permeabilidad secundaria y el medio de doble porosidad con permeabilidad combinada, intergranular y de fracturas.

### 5.2 Parámetros hidráulicos

Como parte de las actividades de estudios previos (SRH, 1973; SARH, 1981 y 1982) se ejecutaron 45 pruebas de bombeo, todas ellas de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. Los resultados de su interpretación por los métodos analíticos convencionales indican que los valores medios de transmisividad varían de  $1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $39.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , en tanto que los valores de conductividad hidráulica registran variaciones entre  $6.5 \times 10^{-6}$  y  $2.1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  (**0.6 a 18.1 m/d**).

Los valores más altos se presentan en la periferia de los valles, asociados la presencia de sedimentos de mayor granulometría, fallas o fracturas, y los bajos en la porción norte del acuífero, debido a la presencia de sedimentos arcillosos y lacustres.

Ninguna prueba de bombeo contó con pozo de observación por lo que no fue posible estimar el valor del coeficiente de almacenamiento. Sin embargo, estudios anteriores realizados en los acuíferos vecinos Ojocaliente y Valle de Aguascalientes, indican que el rendimiento específico puede variar de 0.1 a 0.2 para el medio granular y de 0.01 a 0.08 para el medio fracturado en las rocas riolíticas. Para fines del balance de aguas subterráneas se adoptó un valor de rendimiento específico promedio de **0.05**.

### **5.3 Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, se cuenta con la información recabada como parte de las actividades de los estudios realizados en 2010 así como la piezometría recabada por la Dirección Local de la Comisión Nacional del Agua para varios años. Para el balance de aguas subterráneas se eligió el periodo 2011-2015, que es el que tiene mayor cantidad de información y mejor cobertura espacial.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

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

La profundidad al nivel estático para el año 2015 registró los valores variaban, de manera general, de 20 a 130 m, los cuales se incrementan por efecto de la topografía desde el centro de los valles hacia las estribaciones de las sierras que los delimitan.

Los niveles estáticos someros, de 20 a 30 m, se presentan en la región sur del acuífero al norte del poblado Tacoaleche, de 40 a 50 m en las porciones centro y norte; en tanto que los más profundos, de 100 a 130, se registran en la porción oriental del valle, desde Chaparrosa en el norte hasta la comunidad La Presa en el sur.

En la porción occidental los valores de profundidad al nivel del agua subterránea varían de 70 a 80 m. En ambos casos, influenciados por la topografía del terreno (figura 4).

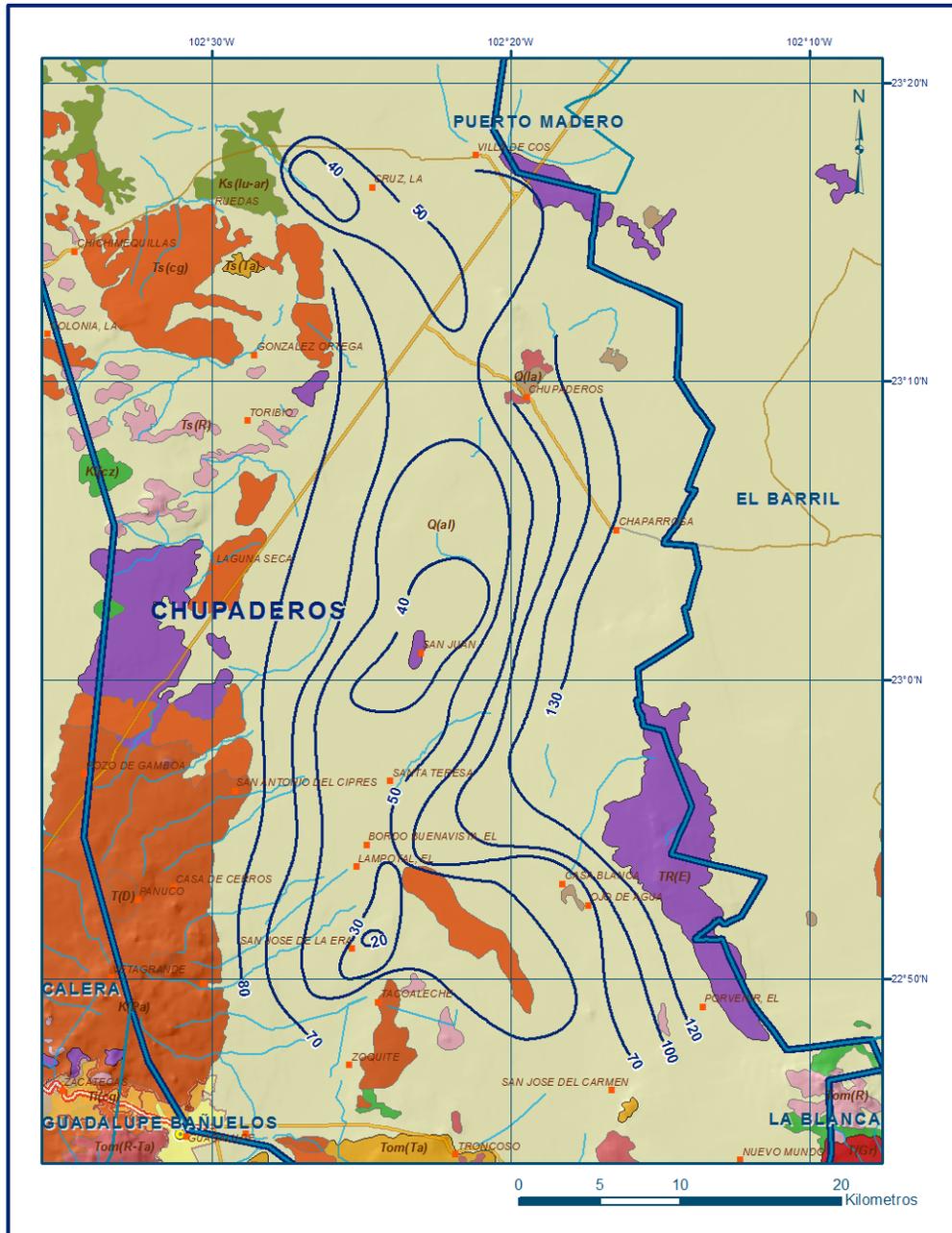


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2015)

### 5.4.2 Elevación del nivel estático

De acuerdo con la configuración de elevación del nivel estático, en 2015 se registraron valores que variaron de 1890 a 2100 msnm, los cuales decrecen gradualmente desde la porción norte, sur y occidental del acuífero hacia el valle aluvial localizado en la región central. Mostrando de esta manera una dirección preferencial del flujo subterráneo oeste-este, con alimentaciones provenientes de los flancos norte y sur, y finalmente dirigirse hacia el límite con acuífero vecino El Barril, en el estado de San Luis Potosí, zona en la que la formación de un extenso cono de abatimiento ha

inducido la entrada de agua subterránea proveniente de dicho acuífero vecino. En la porción norte, al este de Gonzalez Ortega, se observa otro cono de abatimiento definido por la curva 1940 msnm. Las menores elevaciones, de 1890 a 1900 msnm, se registran en la porción oriental del acuífero, hacia el límite con el estado San Luis Potosí; en tanto que las mayores elevaciones, de 2050 a 2100 msnm, se presentan en la región sur, en la zona comprendida entre las poblaciones San Antonio del Ciprés, Tacoaleche y La Presa (figura 5).

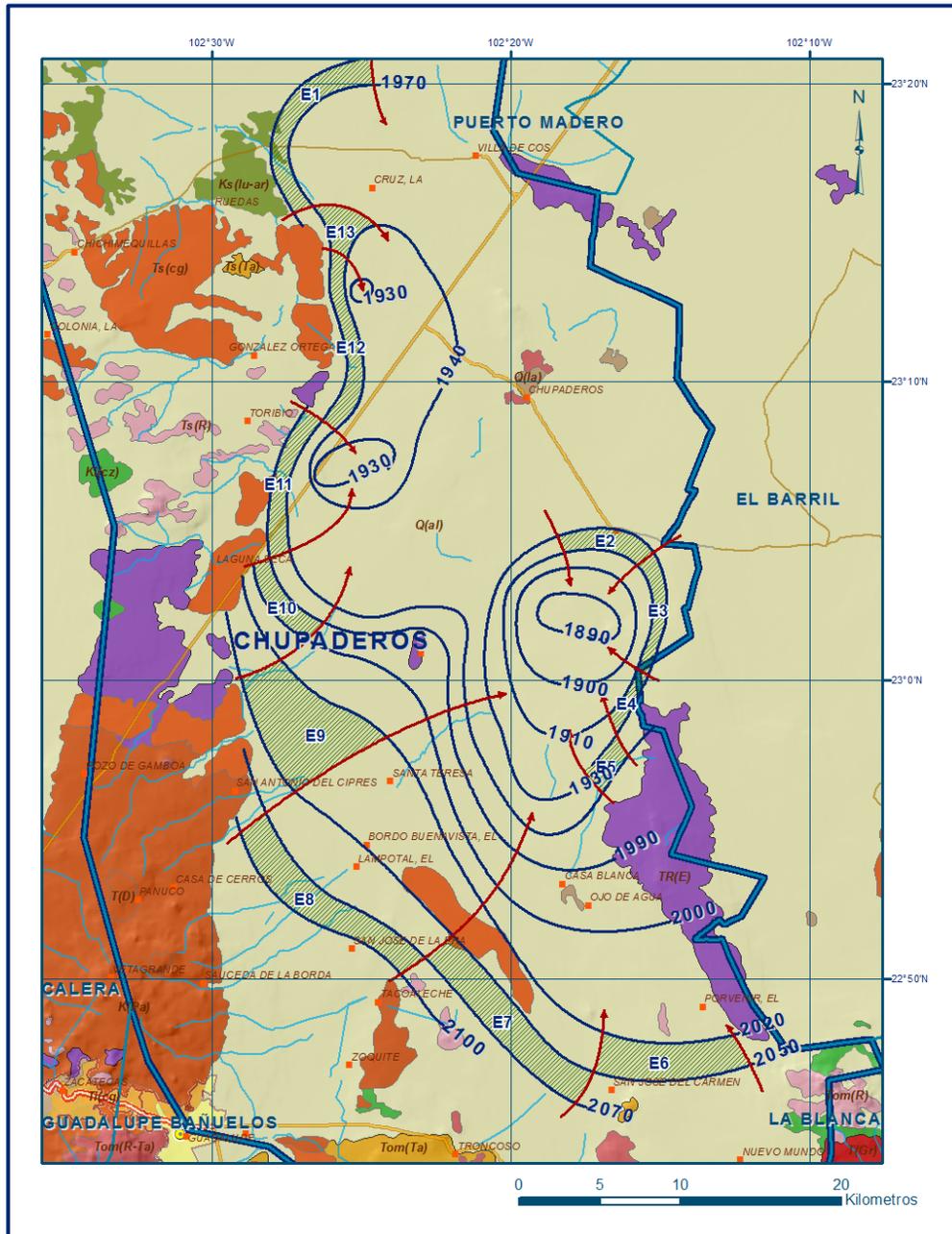


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2015)

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de evolución del nivel estático para el periodo 2011-2015 registró valores de abatimiento en la mayor parte de la superficie del acuífero, que varían de 2 a 10 m, que representan 0.5 a 2.5 m anuales. Se registran conos de abatimiento en las zonas de concentración de la extracción para uso agrícola, ubicadas en la porción centro-oriental, hacia el límite con el estado San Luis Potosí, y en la región norte. En estas zonas el abatimiento medio anual varía de 2 a 2.5 m. En la superficie restante del acuífero el abatimiento varía de 2 a 4 m, con un ritmo promedio de 1.0 m anuales (figura 6).

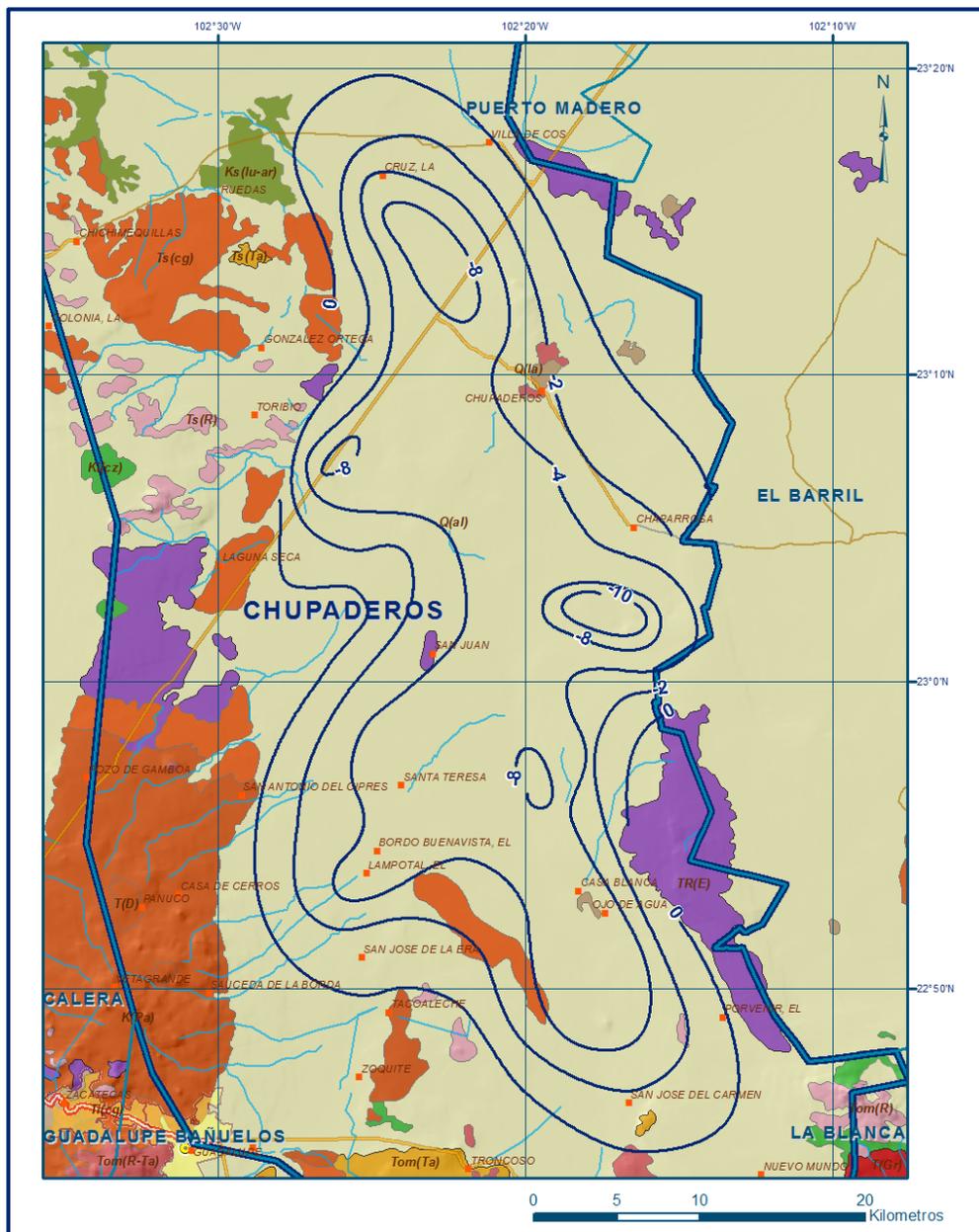


Figura 6. Evolución anual del nivel estático en m (2011-2015)

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

Como parte de las actividades de campo consideradas en el estudio realizado en 1996, se tomaron 25 muestras de agua subterránea, en aprovechamientos distribuidos en la zona de explotación, para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Las determinaciones incluyeron parámetros fisicoquímicos como temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (STD), potencial de hidrógeno (pH), dureza total, alcalinidad así como iones principales.

De los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, se determina que los valores de concentración de STD variaron, de manera general, de 324 a 1028 mg/l, solo una muestra superó el límite máximo permisible de 1000 mg/l establecido por la modificación a la 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. de STD, para el agua destinada al consumo humano. De acuerdo con la clasificación definida por la American Public Health Association (APHA, 1995), el agua del acuífero se clasificó como agua dulce, ya que los valores de conductividad eléctrica varían de 550 a 1750  $\mu$ S/cm. Los valores más bajos de STD y conductividad eléctrica se registraron en la porción suroccidental del acuífero, en las cercanías de las localidades Casa Blanca, en El Porvenir y al sur de Santa Teresa y se incrementan hacia la porción central, mostrando de esta manera la dirección preferencial del flujo subterráneo

Las temperaturas registradas variaron de 22.5 a 35.4 °C, predominando los valores de 28 a 29 °C, en tanto que el pH medido fluctuaba entre 7.3 a 8.2. Los valores altos de temperatura del agua y su pH, se asocian con el ascenso de agua que circula en niveles de mayor profundidad, utilizando como conductos preferenciales el sistema de fallas que predomina en el área donde se ubica la localidad Chupaderos.

De acuerdo a las concentraciones de elementos mayores por ion dominante, se clasificaron las muestras en el diagrama de Piper y se identificó que las familias del agua que predominan es la bicarbonatada-sódica y bicarbonatada-sódica-cálcica, que representan agua de reciente infiltración con periodos cortos de residencia, que ha circulado a través de rocas volcánicas y calcáreas.

En menor proporción se presentan aguas de tipo sódico-sulfatadas y sódico-cloruradas, que indican mayor tiempo de residencia y trayectorias de flujos intermedios y regionales.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), 23 muestras (91.6%) se clasifican como  $C_2-S_1$  que representa contenido medio de sales y baja concentración de sodio intercambiable; y las 2 muestras restantes (8.4%) se clasifican como  $C_3-S_1$  que presenta contenido alto de sales y baja concentración de sodio intercambiable. Ambas pueden utilizarse en la agricultura, en cultivos tolerantes a la salinidad o en suelo de buen drenaje o con requerimientos de lavado de suelos.

La calidad del agua para uso potable se ve afectada por los flujos regionales e intermedios, así como por la contaminación por retorno de riego que han contribuido a elevar las concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas. Las concentraciones de elementos que rebasan las permitidas por la norma mexicana son potasio, bicarbonatos, sulfatos y STD.

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

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos más reciente llevado a cabo por la Comisión Nacional del Agua en 1995, se registraron un total de 1200 obras que aprovechan el agua subterránea, de los cuales 1,121 estaban activos y 79 inactivos. De las obras activas, de acuerdo al tipo de aprovechamiento, 886 eran pozos y 235 norias.

Sin embargo, debido a la falta de información actualizada, el registro público de derechos de agua (REPDA) es hasta el momento la fuente más confiable en cuanto al número de aprovechamientos existente. Al año 2010 tenía un total de 1,735 aprovechamientos de agua subterránea registrados, la gran mayoría de ellos pozos; de los cuales 1,409 (81.2%) son para uso agrícola, 220 (12.7%) se destinaban al uso público-urbano y los 106 restantes (6.1%) para otros usos.

El volumen de extracción conjunto calculado asciende a **138.4 hm<sup>3</sup> anuales**, de los cuales 129.3 hm<sup>3</sup> (93.4 %) se destinan al uso agrícola, 8.8 hm<sup>3</sup> (6.4%) para abastecimiento de agua potable, 0.2 hm<sup>3</sup> (0.1%) para usos pecuario y doméstico y 0.1 hm<sup>3</sup> (1.1%) para uso industrial.

## **7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2011-2015, en una superficie de **1,095 km<sup>2</sup>**, que corresponde a la zona donde se cuenta con información piezométrica y en la que se localiza la mayoría de los aprovechamientos subterráneos.

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 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 del acuífero:

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

## **7.1 Entradas**

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

De manera incidental, la infiltración de los excedentes del 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 pérdidas en las redes de distribución de agua potable, constituyen otra fuente de recarga al acuífero (Ri). Para este caso, debido a que el volumen utilizado para uso público-urbano es pequeño en comparación con el utilizado en la agricultura, solo se considera la infiltración de los excedentes del agua destinada al uso agrícola (Rr).

### **7.1.1 Recarga vertical (Rv)**

Es uno de los términos que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular el cambio de almacenamiento ( $\Delta VS$ ), así como las entradas por flujo subterráneo, este valor es la incógnita a despejar en la ecuación de balance.

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

Donde:

- R<sub>v</sub>:** Recarga vertical
- E<sub>h</sub>:** Entradas por flujo subterráneo horizontal
- R<sub>r</sub>:** Recarga Incidental por retornos de riego
- B:** Bombeo
- ΔV(S):** Cambio de almacenamiento

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

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

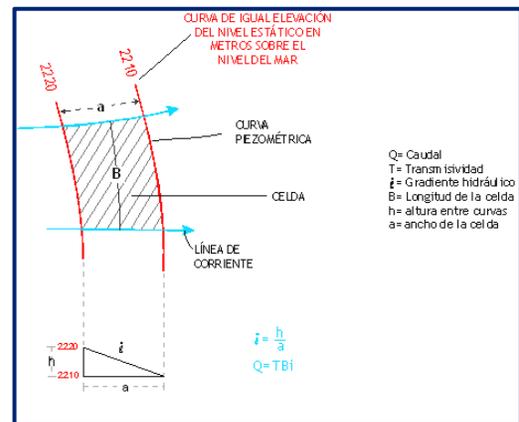
### 7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (E<sub>h</sub>)

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 de los 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. El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, partiendo de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2015 (figura 5), mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * B * i$$

Donde:

- Q=** Gasto;
- T=** Transmisividad;
- B=** Longitud de la celda;
- i=** Gradiente hidráulico;



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas establecidas, en la tabla 2 se observan los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal asciende a **45.6 hm<sup>3</sup>/año**.

Tabla 2. Cálculo de las entradas por flujo subterráneo horizontal (2015)

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	11130	1325	20	0.0151	0.0012	0.2016	6.4
E2	5565	1720	20	0.0116	0.0015	0.0971	3.1
E3	8215	1060	20	0.0189	0.0010	0.1550	4.9
E4	3975	1325	20	0.0151	0.0012	0.0720	2.3
E5	4240	1190	40	0.0336	0.0010	0.1425	4.5
E6	9275	1985	30	0.0151	0.0010	0.1402	4.4
E7	10600	1720	20	0.0116	0.0008	0.0986	3.1
E8	12720	2120	30	0.0142	0.0005	0.0900	2.8
E9	5300	3050	30	0.0098	0.0008	0.0417	1.3
E10	6095	1325	10	0.0075	0.0015	0.0690	2.2
E11	9275	1190	20	0.0168	0.0008	0.1247	3.9
E12	10865	925	30	0.0324	0.0005	0.1762	5.6
E13	2385	1985	30	0.0151	0.0010	0.0360	1.1
<b>Total entradas</b>							<b>45.6</b>

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas, fueron obtenidos de pruebas de bombeo realizadas estudios previos, adaptados al espesor saturado de las zonas

### 7.1.3 Recarga incidental (Rr)

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, dependiendo de propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y de la profundidad al nivel estático. Esta contribución al acuífero se le conoce como retorno de riego y según Jacob Bear (1970) su valor varía entre el 20 y 40 % del volumen usado en la irrigación.

Debido a la falta de información de láminas de riego por cultivo, se consideró que un 5% del volumen aplicado al uso agrícola retorna al acuífero en forma de recarga incidental, tomando en cuenta la profundidad al nivel del agua subterránea varía de 20 a 50 m en la zona agrícola y la presencia de estratos de permeabilidad media a baja en el subsuelo.

De esta manera si el volumen para uso agrícola es de 129.3  $hm^3$  anuales, el retorno agrícola es de 6.5  $hm^3$  anuales. **Rr = 6.5  $hm^3$  anuales**

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre de manera artificial por bombeo (B).

### 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 **138.4 hm<sup>3</sup> 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 registrada durante el periodo 2011-2015 (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 de influencia de curvas de igual evolución del nivel estático (km<sup>2</sup>)

**h:** Valor de la variación piezométrica en el período (m)

Como consecuencia de la explotación del recurso, la posición de los niveles piezométricos ha descendido propiciando una variación negativa del almacenamiento.

El volumen de agua drenado en el intervalo 2011–2015, fue de -207.3m<sup>3</sup>, que representa un promedio anual de **-51.8 hm<sup>3</sup>** (tabla 2).

Tabla 2 Cálculo del cambio de almacenamiento (2011-2015)

Evolución (m)	Abatimiento medio (m)	Área (km <sup>2</sup> )	Sy	$\Delta V(S)$ (hm <sup>3</sup> /año)
0 a -2	-1.0	337.1	0.05	-16.9
-2 a -4	-3.0	281.9	0.05	-42.3
-4 a -8	-6.0	427.9	0.05	-128.4
-8	-8.0	36.7	0.05	-14.7
-8 a -10	-9.0	11.4	0.05	-5.1
<b>Área de balance</b>		<b>1095.0</b>	<b>TOTAL</b>	<b>-207.3</b>
		<b>Promedio anual</b>		<b>-51.8</b>

### 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:

$$\begin{aligned} R_v &= B \pm \Delta V(S) - E_h - R_r \\ R_v &= 138.4 - 51.8 - 45.6 - 6.5 \\ R_v &= 34.5 \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= R_v + E_h + R_i \\ R &= 34.5 + 45.6 + 6.5 \\ R &= 86.6 \text{ hm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

## 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 a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como incidental. Para este caso su valor es **86.6 hm<sup>3</sup>/año**, de cuales 80.1 hm<sup>3</sup> son recarga natural y 6.5 hm<sup>3</sup> recarga incidental.

## 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que está comprometido como agua superficial, 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 de este acuífero no existen descargas naturales comprometidas. Por lo tanto **DNC = 0.0 hm<sup>3</sup>/año.**

## 8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

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

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

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **188,453,226 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022.**

## 8.4 Disponibilidad 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 86.6 - 0.0 - 188.453226 \\ \text{DMA} &= -101.853226 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **101,853,226 m<sup>3</sup> anuales.**

## **9 BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua. 1996. Estudio Geohidrológico e Hidrogeoquímico en la Zona de Zacatecas, Zacatecas. Realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Comisión Nacional del Agua, 1997. Estudio para la Reactivación de Redes de Monitoreo de los Acuíferos Valles de Calera-Benito Juárez, Chupaderos, Guadalupe Bañuelos, Cuenca del Aguanaval, Ojocaliente y La Blanca, en el estado de Zacatecas. Realizado por Estudios y Proyectos Moro S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Chupaderos, estado de Zacatecas.

Comisión Nacional del Agua, 2010. Plan de Manejo Integral de Acuífero Chupaderos, estado de Zacatecas. Realizado por Ingeniería y Gestión Hídrica S.C.

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), 1973. Informe Preliminar de Zona de Chupaderos-Villa de Cos, Zac. Realizado por Técnicas Modernas de Ingeniería S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Actividades de Carácter Geohidrológico en las Zonas de Chupaderos, Villa Hidalgo y La Blanca, Zacatecas. Realizado por Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1982. Estudio Geohidrológico Preliminar de la Zona de Trancoso, Zacatecas. Realizado por Consultores, S.A.