



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE AGUASCALIENTES (0101),
ESTADO DE AGUASCALIENTES**

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.....	9
3.1 Provincia fisiográfica	9
3.2 Clima	10
3.3 Hidrografía.....	11
3.4 Geomorfología.....	12
4. GEOLOGÍA.....	13
4.1 Estratigrafía	15
4.2 Geología estructural	22
4.3 Geología del subsuelo.....	23
5. HIDROGEOLOGÍA.....	24
5.1 Tipo de acuífero.....	24
5.2 Parámetros hidráulicos	25
5.3 Piezometría.....	25
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.....	28
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	30
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA.....	31
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	31
7.1 Entradas.....	32
7.1.1 Recarga vertical (Rv)	32
7.2 Salidas	34
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	34
8. DISPONIBILIDAD	36
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
9. BIBLIOGRAFÍA	39

1.GENERALIDADES

Antecedentes

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

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

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

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

1.1 Localización

El acuífero Valle de Aguascalientes, definido con la clave 0101 por la Comisión Nacional del Agua. Se localiza en la porción central del estado de Aguascalientes, entre las coordenadas geográficas 21° 37' y 22° 28' de latitud norte y 102° 07' y 102° 41' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 3,129 km².

Limita al norte con el acuífero Ojocaliente; al noroeste con Jalpa-Juchipila, ambos pertenecientes al estado de Zacatecas; al este con Valle de Chicalote, al sureste con El Llano; al oeste con Valle de Calvillo y al suroeste con el acuífero Venadero, que

pertencen al estado de Aguascalientes; al sur con el acuífero Encarnación, del estado de Jalisco (figura 1). Geopolíticamente, comprende la superficie total de los municipios Cosío, Rincón de Romos y Pabellón de Arteaga; casi la totalidad de Aguascalientes, Tepezalá, San José de Gracia y Jesús María; así como porciones menores de Calvillo, San Francisco de Los Romo y Asientos.

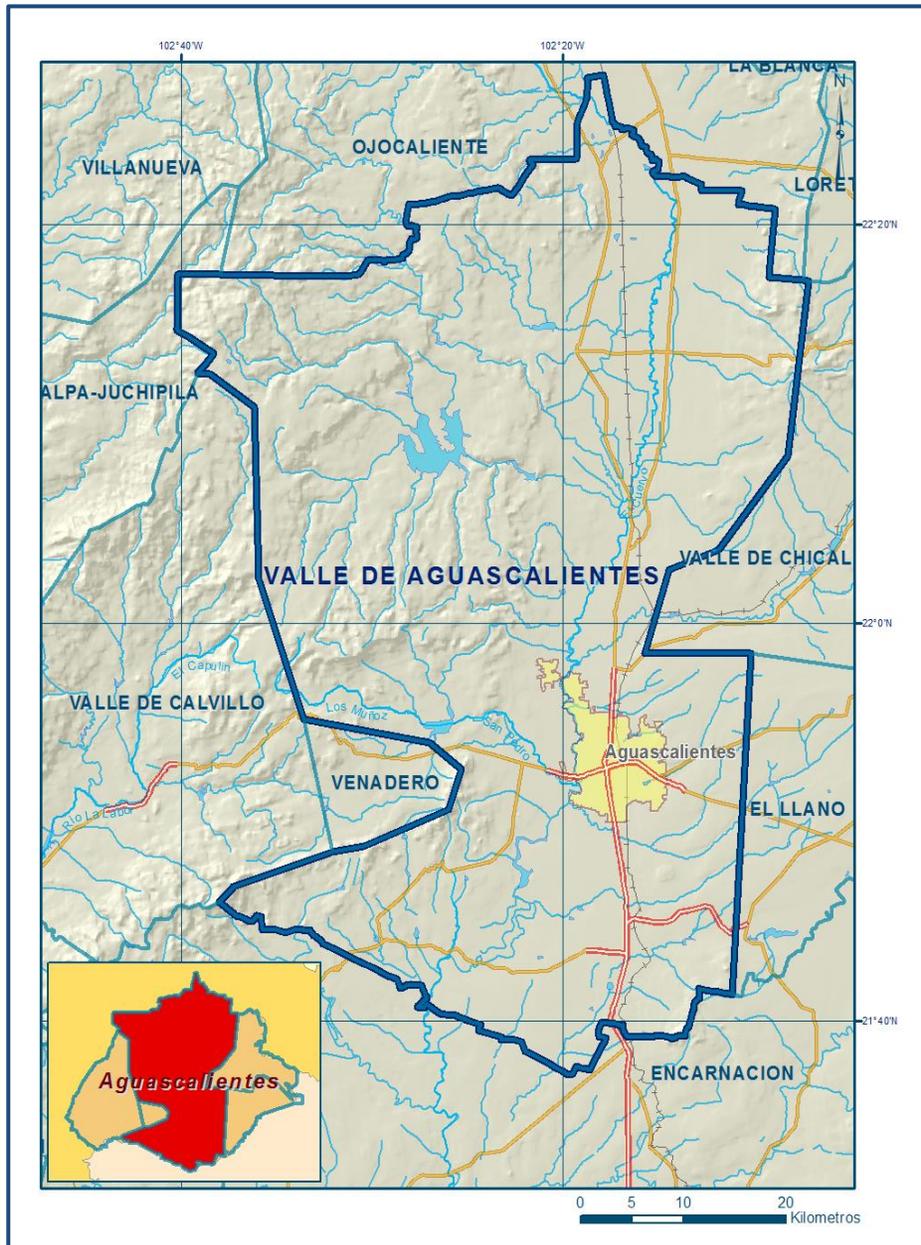


Figura 1. Localización del acuífero

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

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0101 VALLE DE AGUASCALIENTES							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	102	7	6.5	22	17	11.7	
2	102	8	10.0	22	8	23.0	
3	102	11	50.0	22	3	40.0	
4	102	14	25.0	22	2	40.0	
5	102	15	42.0	21	58	30.0	
6	102	10	8.0	21	58	30.0	
7	102	11	5.6	21	41	22.0	DEL 7 AL 8 POR EL LIMITE ESTATAL
8	102	38	14	21	45	59.1	
9	102	37	16.1	21	46	45.2	
10	102	32	5.0	21	48	30.0	
11	102	30	25.1	21	48	48.1	
12	102	26	0.0	21	50	40.0	
13	102	25	20.0	21	52	40.0	
14	102	27	0.0	21	54	0.0	
15	102	33	35.0	21	55	10.0	
16	102	35	58.0	22	2	12.0	
17	102	36	10.0	22	10	50.0	
18	102	38	30.0	22	12	30.0	
19	102	39	8.9	22	12	31.9	DEL 19 AL 20 POR EL LIMITE ESTATAL
20	102	37	58.4	22	17	29.7	DEL 20 AL 21POR EL LIMITE ESTATAL
21	102	7	23.6	22	17	13.1	DEL 21AL 1POR EL LIMITE ESTATAL
1	102	7	6.5	22	17	11.7	

1.2 Situación administrativa del acuífero

El acuífero Valle de Aguascalientes pertenece al Organismo de Cuenca VIII “Lerma-Santiago-Pacífico”, al Consejo de Cuenca “Río Santiago”, instalado el 14 de julio de 1999, y es jurisdicción territorial de la Dirección Local en el estado de Aguascalientes. Su territorio se encuentra totalmente vedado y sujeto a las disposiciones del “Decreto por el que se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende todo el Estado de Aguascalientes”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de mayo de 1963.

Esta veda se clasifica como tipo III que permiten 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 porción norte de su territorio se localiza el Distrito de Riego 001 “Pabellón”. Los usuarios se encuentran organizados en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas

(COTAS) del Acuífero Interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación, A. C., instalado el 18 de abril de 2000.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona en la que se ubica el acuífero se han llevado a cabo diversos estudios hidrogeológicos de evaluación, algunos de cobertura regional. Entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN LOS VALLES DE AGUASCALIENTES, CHICALOTE, CALVILLO Y VENADERO, EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Realizado en 1981 por Consultores, S.A., para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Mediante la realización de las actividades de campo consideradas en el estudio anterior, la ejecución de otras pruebas de bombeo y de sondeos geofísicos, se planteó la actualización del balance de aguas subterráneas para calcular la recarga media anual que reciben los acuíferos.

SINOPSIS GEOHIDROLÓGICA DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Publicada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1987. Su objetivo fue integrar y actualizar la información hidrogeológica del estado así como establecer las bases para la realización de nuevos proyectos enfocados a la obtención de agua para garantizar el abastecimiento requerido por los diferentes sectores usuarios.

Contiene información general de los acuíferos del estado: geología, fisiografía, climatología, hidrogeología, configuraciones del nivel estático, valores de parámetros hidráulicos y resultados de los balances de aguas subterráneas, mediante los cuales se determina la recarga media anual de cada uno de ellos. Además, consigna el número de aprovechamientos y su volumen de extracción, en ambos casos, con su distribución por usos correspondiente.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL VALLE DE AGUASCALIENTES, LOCALIDAD DE OJOCALIENTE Y SURESTE DE LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES. Realizado para la Secretaría de Obras Públicas por ETEISA, S.A. de C.V. en 1990.

Su objetivo fue elaborar un modelo geohidrológico conceptual que permitiera comprender los factores naturales e inducidos que controlan el flujo del agua subterránea en el subsuelo, con el propósito de definir sitios favorables para la explotación y aquellos que requieran protección. Realizó la compilación y análisis de

información que permitió establecer la caracterización de la hidrología superficial y de la geología de la zona, con recorridos de campo y muestreo de agua subterránea para su caracterización hidrogeoquímica.

ESTUDIO DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA EN LA ZONA SUR DEL VALLE DE AGUASCALIENTES. Realizado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua en 1990. Tuvo como objetivo determinar el espesor de los sedimentos aluviales y de las rocas volcánicas, para identificar los sitios con mayores posibilidades de almacenar agua subterránea. Mediante 20 SEV's definió la presencia de 8 unidades geoelectricas, de las cuales sólo dos presentan las mejores condiciones de porosidad y permeabilidad. Recomienda perforar un pozo exploratorio a 300 m de profundidad para evaluar el potencial de los materiales granulares y volcánicos.

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DEL SUR DEL VALLE DE AGUASCALIENTES, COMPRENDIENDO PEÑUELAS Y EL SURESTE DEL VALLE DE AGUASCALIENTES. Realizado en 1991 para la Comisión Nacional del Agua por Exploraciones Coordinadas, S.A. de C.V. Su objetivo fue definir las zonas o sitios más favorables para la explotación del acuífero. Destaca el control estructural en el comportamiento del flujo subterráneo, dando lugar a zonas geohidrológicas con diferente funcionamiento, considera además que las fallas afectan a los intrusivos, provocando hidrotermalismo y alteración de las rocas encajonantes.

DEFINICIÓN DEL FLUJO REGIONAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA, SU POTENCIALIDAD Y USO EN LA ZONA DE LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES. Realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México en 1995, para la Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del estado de Aguascalientes. Abarcó todo el estado de Aguascalientes y fue la segunda etapa del estudio iniciado en 1994, con el propósito de definir el funcionamiento hidrogeológico de la región, definir los sistemas de flujo, su implicación regional, conocer las características hidráulicas de las distintas unidades hidroestratigráficas, analizar la hidrogeoquímica, determinar los posibles controles naturales de fluoruros en el agua y estimar con geotermómetros la profundidad de circulación de los flujos regionales. Sin embargo, la identificación de los sistemas de flujo se basó únicamente en el análisis químico del agua; la escasa información aportada por las pruebas de bombeo para esta determinación resultó insuficiente, como lo indican los propios autores. La información geológico-estructural

descrita es muy generalizada y también se utiliza poco en la conjunción de datos de la definición final de los sistemas de flujo subterráneo.

Contiene información hidrogeoquímica y de parámetros hidráulicos del acuífero que ayudaron a la definición de su modelo conceptual de funcionamiento y la caracterización de los sistemas de flujo.

ESTUDIO DE SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y DISEÑO ÓPTIMO DE LA RED DE OBSERVACIÓN DEL ACUÍFERO DE AGUASCALIENTES. Realizado por Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. en 1996, para la Comisión Nacional del Agua.

Tuvo como objetivo determinar la geometría del sistema acuífero y sus parámetros hidráulicos, caracterizar el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, construir un modelo tridimensional de simulación y predicción mediante el uso de MODFLOW y aplicar el método geoestadístico para definir la red de monitoreo y diseñar la red óptima de pozos de observación. El trabajo hace énfasis en la evidente insuficiencia y a veces poca confiabilidad de datos utilizados para lograr los objetivos.

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE AGUASCALIENTES. Elaborado en BURGÉAP en 1999.

Este estudio realiza una recopilación y reinterpretación de la información existente para alimentar un modelo matemático de simulación hidrodinámica en el que se predice el comportamiento de los niveles del agua subterránea en el acuífero, al continuar con el mismo régimen de extracción. En el modelo intervienen además aspectos socioeconómicos y culturales para hacer propuestas respecto a modificaciones importantes en las prácticas de explotación, propone incluso la organización de usuarios, como punto de partida para la toma de acciones dirigidas a reducir la extracción de agua para uso agrícola. En este aspecto, las propuestas de cambio en las técnicas de riego y en la selección de cultivos de menor consumo de agua, son las opciones más viables.

CUANTIFICACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN DE LOS ACUÍFEROS INTERESTATALES: VALLE DE AGUASCALIENTES, ENCARNACIÓN Y OJOCALIENTE, ESTADOS DE AGS., JAL. Y ZAC. Realizado en 2001 para la Comisión Nacional del Agua por Gondwana Exploraciones, S.C.

El objetivo de este estudio fue conocer la distribución espacial, temporal y cuantificar los volúmenes de extracción de agua subterránea destinados principalmente al uso

agrícola en el acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación, ubicado en los límites entre los estados de Zacatecas, Aguascalientes y Jalisco.

Para ello recopila información temática y utiliza técnicas de percepción remota, sistemas de información geográfica, visitas de campo a muestras representativas de los patrones de cultivo, medición de la eficiencia electromecánica de los pozos y la estimación de la relación entre los requerimientos de riego para los diferentes cultivos, la eficiencia de riego y los volúmenes de extracción utilizados.

INTEGRACIÓN DEL PLAN DE MANEJO PARA EL ACUÍFERO INTERESTATAL OJOCALIENTE-AGUASCALIENTES-ENCARNACIÓN. Realizado por Desarrollo y Sistemas, S.A. en 2003, para la Comisión Nacional del Agua. Su objetivo general fue formular un plan integrado para el manejo de este acuífero interestatal, 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 caracterización y proyección del volumen de agua utilizable, balance integral del agua y la construcción de un modelo de simulación hidrodinámica para simular diferentes escenarios. Mediante talleres de planeación participativa se definieron escenarios concertados con los usuarios. El plan de manejo definido establece opciones de manejo de la demanda y de la disponibilidad, así como acciones para las diferentes alternativas de manejo integrado.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE AGUASCALIENTES, EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Realizado en 2014 por SANX, Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V., para la Comisión Nacional del Agua. Su objetivo general fue actualizar el conocimiento de la condición geohidrológica, generar información hidrogeológica para calcular su recarga y actualizar el cálculo de la disponibilidad media anual de agua subterránea. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, análisis de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, fue posible plantear el balance de aguas subterráneas para calcular la recarga total media anual. Incluye además estudios de prospección geofísica, muestreo de aguas, análisis e interpretación de información hidrogeoquímicos. Este trabajo constituyó la base para la elaboración de este documento, por lo que sus resultados y conclusiones se presentan 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 tres Provincias Fisiográficas. La porción occidental se ubica en la Sierra Madre Occidental, la región oriental en el Mesa Central y su extremo sur pertenece al Eje Neovolcánico. 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 Sierra Madre Occidental, Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos; Mesa del Centro, Subprovincia Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes; y Eje Neovolcánico, Subprovincia Altos de Jalisco.

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 Cenozoico 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.

La 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.

La Subprovincia Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes se caracteriza por sus extensas llanuras con pisos de caliche y una muy somera cubierta aluvial, que se encuentran a altitudes alrededor de los 2,000 msnm.

Su expresión principal es la de llanura desértica de piso rocoso, seguida por los sistemas de topofomas lomerío con cañadas, sierra baja, sierra baja con mesetas y meseta.

El Eje Neovolcánico se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumulada en innumerables y sucesivas etapas, desde mediados del Cenozoico. Está integrada por grandes sierras volcánicas, extensas coladas lávicas, conos dispersos o en enjambre, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arena y cenizas.

Presenta también la cadena de grandes estrato-volcanes denominada propiamente "Eje Neovolcánico", integrado por los volcanes de Colima, Tancítaro, Nevado de Toluca, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, La Malinche y Pico de Orizaba, que casi en línea recta atraviesan el país, más o menos sobre el paralelo 19°. La Subprovincia Altos de Jalisco presenta tres rasgos que la distinguen de las otras subprovincias que integran al Eje Neovolcánico: 1) tiene amplias mesetas de origen volcánico; 2) presenta la mayor densidad de topofomas degradativas generadas por disección hídrica, que provoca que en toda su extensión sólo tenga una llanura verdadera; y 3) contiene valles profundos de laderas escarpadas, cuya afinidad con los cañones de la Sierra Madre Occidental es evidente.

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 BSkw. Es 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), que 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), que 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 cae en este periodo con respecto a la total anual) es < 5%. 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.

En la porción sur, donde se ubican las planicies, el clima es semiseco semicálido BShw(w) que se diferencia del clima anterior en que su condición de temperatura (h) corresponde a semicálido. En la región occidental, a elevaciones de 2,220 a 2,500 msnm se presenta el clima subhúmedo con lluvias en verano C(wo) que se caracteriza por presentar temperatura media anual entre 12.0° y 18.0°C y la precipitación total anual entre 600 y 700 mm, en el que el más seco recibe menos de 40 mm de lluvia.

Para la determinación de las variables climatológicas se cuenta con información de 30 estaciones climatológicas con influencia en el área del acuífero: Presa El Niágara, Puerto de la Concepción, La Tinaja, Mesillas, Pabellón (Campo Experimental), Presa Potrerillos, Presa Plutarco E. Calles, Presa Jocoque, Rancho Viejo, Tepezalá, Aguascalientes, Arellano, Cieneguilla, Montoro, Los Negritos, El Ocote, Peñuelas, San Francisco de los Romo, Tepetatillo, Cosío, Presa 50 Aniversario, Jesús María, El Chayote, Calvillito, Aguascalientes 2, La Posta U.A.A., Pabellón de Arteaga, Alamitos (Campamento), La Primavera, Arroyo Hondo (CYCNA). Con los registros obtenidos para el periodo 1938-2014 y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores medios anuales de precipitación, temperatura y evaporación potencial de **510.6 mm**, **17.1 °C** y **2010.4 mm**, respectivamente.

3.3 Hidrografía

El acuífero se localiza en la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Chapala-Santiago, Subregión Hidrológica Alto Santiago, en la subregión Alto Santiago, cuenca del río Verde Grande.

Su corriente principal es el Río Aguascalientes, el cual nace a unos 40 km al sur de la ciudad de Zacatecas; penetra al estado de Aguascalientes y en su trayecto se le unen los ríos Pabellón, Santiago, Morcinique, Chicalote y San Francisco, además de arroyos

menos importantes. En sus orígenes se denomina Río San Pedro; dentro de los estados de Aguascalientes y Jalisco se le conoce con el nombre de Río Aguascalientes y cuando se le unen los ríos Encarnación, Lagos y Teocaltiche cambia a Río Verde, que escurre con rumbo al suroeste hasta su confluencia al Río Grande o Santiago, en la Barranca de Oblatos, ubicada al norte de la ciudad de Guadalajara.

El río cruza áreas abruptas y difíciles para el cultivo, pero también pasa por zonas planas donde se aprovecha casi en su totalidad en los valles agrícolas de Aguascalientes y Jalisco.

Los escurrimientos de los arroyos no son perennes, únicamente en temporada de lluvias conducen aguas pluviales, sus regímenes están controlados mediante pequeñas presas de almacenamiento que se han construido a lo largo de sus cauces para aprovechar su caudal. Entre las más importantes destacan las presas Abelardo Rodríguez, Plutarco Elías Calles, Jocoque y El Niágara; otros almacenamientos tienen capacidades menores de 0.5 hm^3 .

3.4 Geomorfología

En el área que cubre el acuífero se localizan tres unidades geomorfológicas principales: la primera representa el límite occidental del valle y corresponde a la Sierra Fría, la segunda unidad es la zona en la que se desarrollan amplios valles, de origen tectónico, como en el que se aloja el acuífero Valle de Aguascalientes. La Sierra Fría está integrada por un conjunto de elementos topográficos con elevaciones máximas de 3,000 msnm, que presentan una orientación sensiblemente norte-sur, en la que se desarrollan pendientes abruptas con diferencias de hasta 100 m respecto del cauce de los ríos y arroyos que la disectan, formando cañadas estrechas. Presenta una red de drenaje de tipo dendrítico.

La tercera unidad se presenta bordeando la sierra en forma de una franja, orientada en el mismo sentido norte-sur, integrada por un conjunto de extensas mesetas cuyas elevaciones son menores a 2,450 msnm, que se caracterizan por presentar límites abruptos, generalmente verticales, hasta de 100 m de altura con respecto del fondo de las cañadas. Presentan drenaje de tipo dendrítico y subparalelo, este último generado por el sistema de fracturamiento de las rocas.

Dentro de este conjunto se desarrolla también un sistema de elevaciones topográficas máximas de 2,500 msnm, que presentan cañadas poco profundas, menores de 100 m;

en el que el drenaje es de tipo subparalelo y sensiblemente radial. Sin embargo, las diferencias de elevación con respecto al valle, puede superar 500 m en las áreas de mayor elevación. Los valles se desarrollan entre las sierras, presentan pendientes suaves, ocasionalmente interrumpidas por lomeríos, y una diferencia máxima de altura de 60 m con respecto a las mesetas. Sus elevaciones varían de 2,100 msnm, en la porción norte, a 1,800 en el extremo sur.

El elemento más importante de este conjunto morfológico es el que se desarrolla en la zona comprendida desde Ojocaliente y Luis Moya en el estado de Zacatecas, pasando por Rincón de Romos, Pabellón de Arteaga, San Francisco de los Romo y Aguascalientes, en el estado de Aguascalientes, hasta Encarnación de Díaz en el estado de Jalisco, que constituye el denominado Graben de Aguascalientes.

4. GEOLOGÍA

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

La unidad más antigua corresponde a una secuencia vulcanosedimentaria que se ha denominado informalmente como Formación Cieneguitas (Dávila et al., 1988), constituida por andesitas, areniscas y lutitas, sobre la cual descansa concordantemente la unidad nombrada informalmente como Formación El Varal (Velasco H.M. 1989), conformada por calizas, lutitas con bandas y nódulos de pedernal; ambas unidades afloran de manera aislada en forma de ventanas estructurales, presentan metamorfismo regional de bajo grado y están intrusionadas por un tronco diorítico de edad Cretácico Inferior; su contacto superior es discordante debido a que se registró en una época de no depósito que va del Cretácico Superior al Eoceno Medio; sus afloramientos se localizan en los poblados La Tomatina y El Varal, ubicados 10 y 20 km al oeste de la ciudad de Aguascalientes, respectivamente.

Durante el Cenozoico en el occidente de México se presentó la influencia de un arco magmático generado por la tectónica convergente, dando lugar a la emisión de rocas

volcánicas que conforman la Sierra Madre Occidental. Mc Dowell et al. (1979) establece que esta sierra está constituida por dos secuencias ígneas:

Una inferior que consta principalmente de rocas ígneas intermedias con edades que varían de 45 a 95 Ma (Paleoceno) que corresponden con derrames, flujos piroclásticos y algunas intercalaciones de flujos ignimbríticos.

La secuencia superior y más reciente está integrada por una potente cubierta de ignimbritas que de acuerdo con Demant et al. (1975) puede alcanzar 1000 m de espesor, cuya edad se considera entre 27 y 34 Ma (Oligoceno). A partir del Mioceno Medio se generó un nuevo evento volcánico bimodal que corresponde a la manifestación del Eje Neovolcánico, las rocas más antiguas de este evento son de composición andesítica. El Mioceno Superior se manifiesta por la presencia de tobas riolíticas, que afloran al sureste de la ciudad de Aguascalientes, así como como basaltos que se exhiben en forma de coladas.

Durante el Neógeno se depositó una secuencia de areniscas arcillosas, rellenando las fosas tectónicas, capas de conglomerados y tobas líticas de color blanco; así como horizontes de gravas empacados por arenas gruesas y medianas y cenizas, cuyo espesor es superior a 200 m. Posterior a esta secuencia, se presentan conglomerados oligomícticos y polimícticos del Plioceno Medio, sobre los que descansan derrames basálticos del Plioceno, que a su vez son cubiertos por tobas basálticas.

Las rocas intrusivas cortan la secuencia volcánica cenozoica y afloran de manera restringida, son de composición granítica, granodiorítica y diorítica. En algunas localidades se observa la presencia de cuerpos intrusivos de tipo pórfido andesítico y dacítico, que afectaron a este paquete volcánico y a los que se les atribuye la mineralización en algunos sitios.

Los eventos volcánicos se manifestaron hasta el Plio-Cuaternario. Durante el Pleistoceno-Holoceno se depositaron cenizas riolíticas y lapilli, que presentan estratificación masiva, y arenas finas con estratificación cruzada, con presencia de restos de vertebrados.

Rellenando las depresiones topográficas, se encuentra material aluvial, constituido principalmente por gravas, arenas y limos, principalmente al norte de la ciudad de

Aguascalientes (Carta Geológico-Minera F13-9 "Aguascalientes", escala 1: 250,000. SGM, 1998) (figura 2).

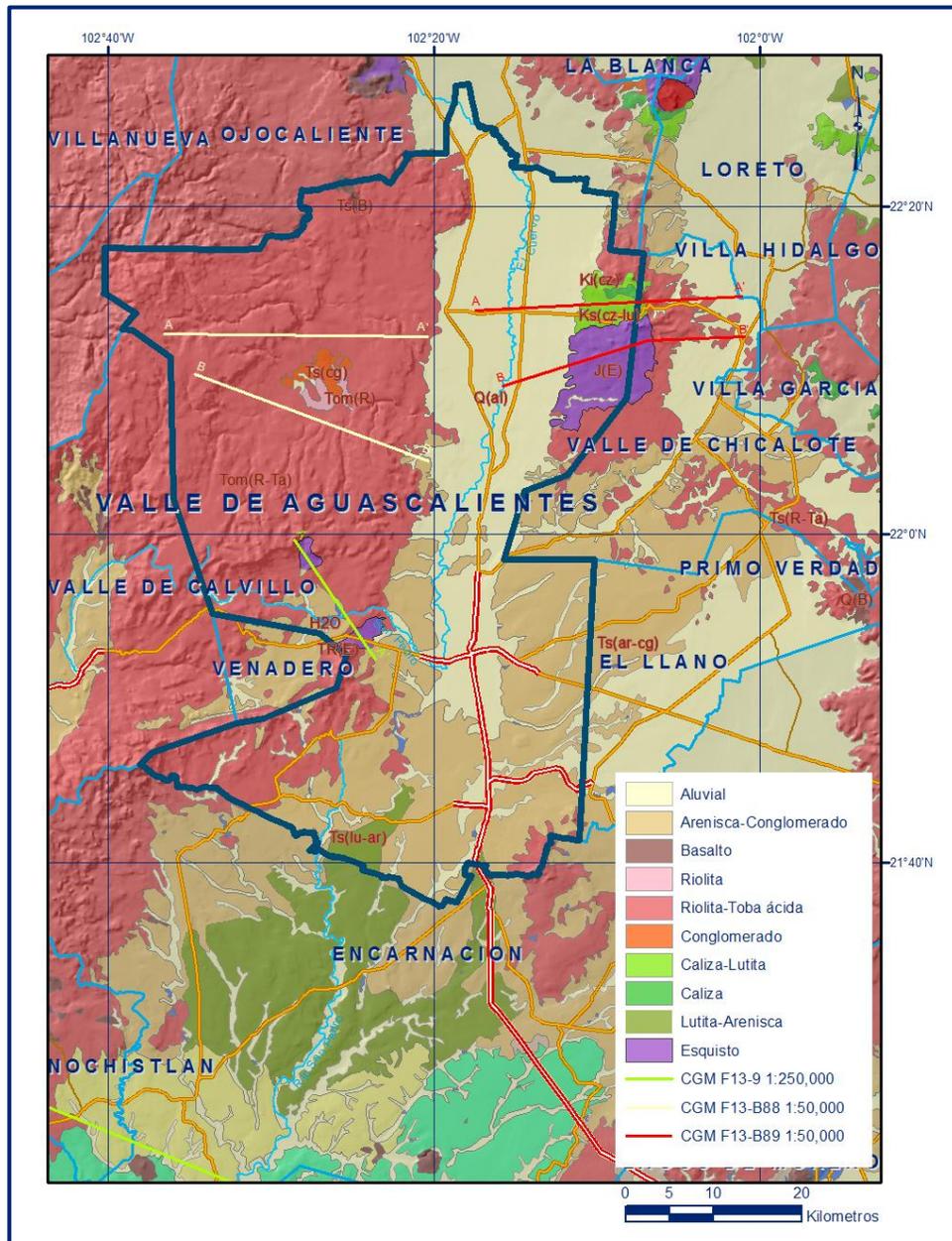


Figura 2. Geología general del acuífero

4.1 Estratigrafía

En la zona en la que se ubica el acuífero afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas cuyo registro estratigráfico varía del Triásico Superior al Reciente.

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

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, metaareniscas, 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 (1906) y Scalia (1906), la dataron en el Triásico Superior.

JURÁSICO SUPERIOR

Formación Cieneguitas

Nombre propuesto por Dávila et al., (1988) para la secuencia vulcanosedimentaria constituida por sedimentos psamíticos y calcáreos metamorfoseados de facies de facies de esquistos verdes, con algunos meta basaltos y filitas (Aranda, 1984); que aflora en el distrito minero de Tepezalá, Aguascalientes, donde se encuentra cabalgando a rocas calcáreo-arcillosas del Cretácico Inferior. Se encuentra también en contacto tectónico con el Grupo Fresnillo del Cretácico Inferior.

JURÁSICO SUPERIOR-CRETÁCICO INFERIOR

Los materiales que conforman el basamento de la columna estratigráfica de este elemento están representados por dos unidades litoestratigráficas: la primera y más antigua corresponde a una secuencia que se ha relacionado con la 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, metamorfizadas, que aflora a 2.5 km al sur de Fresnillo, Zac. y la segunda unidad se asocia con un paquete de calizas que generalmente corona los cerros en donde afloran los materiales asociados al Terreno Guerrero; cuya edad se asigna al límite al Jurásico-Cretácico. En el área de La Tomatina las rocas consisten de areniscas con intercalaciones de lutitas que presentan metamorfismo de tipo regional

en facie de esquistos verdes en el contacto con rocas ígneas muy alteradas; mientras que en el área de El Varal existen metacalizas de color oscuro, microcristalinas, poco alteradas. Aranda (op. cit.) denominó a esta unidad, informalmente, como "Complejo Basal". Por su estructura masiva y compacta, representan el basamento hidrogeológico regional.

CRETÁCICO INFERIOR

Unidad Vulcanosedimentaria

En el área del acuífero se distinguen dos unidades de esta secuencia: la base está constituida por materiales vulcanosedimentarios depositados en un medio acuoso y la cima conformada por una secuencia de sedimentos clásticos que en gran parte se encuentran metamorfizados. Sus principales afloramientos se localizan en la porción norte del acuífero, en las inmediaciones de los poblados Santa Teresa, Ojocaliente y Cuauhtémoc, en el acuífero vecino Ojocaliente del estado de Zacatecas; así como en localidades restringidas ubicadas al oeste de la Ciudad de Aguascalientes.

Se correlaciona con los grupos Fresnillo y Noria de Ángeles (Espinoza, 1991), constituidos por areniscas, filitas, calizas arcillosas, bancos calcáreos-dolomíticos y zonas de esquistos sericíticos, que sobreyacen discordantemente a la Formación Chilitos.

Unidad de andesitas-filitas

Está constituida por lavas de composición andesítica de color verde oscuro, con estructura de almohadillas en algunas porciones, foliación bien definida y textura afanítica, intercaladas con horizontes irregulares de material arcilloso de color verde oscuro.

Se observan también estructuras sigmoides producidas por tectonismo y en ocasiones brechamiento, que se atribuye al enfriamiento repentino al entrar en contacto con el agua. Por su grado de deformación resulta incierto determinar su espesor, dentro del área de estudio aflora el contacto inferior; el contacto superior con los terrígenos pelíticos y psamíticos que le sobreyacen, es normal.

De acuerdo con la asociación litológica que presenta la unidad, se puede establecer que su depósito se llevó a cabo en el Berriasiano, por lo que resultan parcialmente correlacionables con la Formación Taraises del Terreno Sierra Madre (CRM, 2001).

Unidad de areniscas-filitas

Conformada por metasedimentos que en ocasiones no presentan rasgos de metamorfismo o bien se presenta de manera incipiente, por lo que se identifica claramente que su protolito corresponde a una secuencia clásica constituida por lutitas, limolitas y areniscas.

Generalmente presenta metalutitas, metalimolitas y metareniscas, con grado de metamorfismo variable, desde pizarras y filitas, las más frecuentes, hasta esquistos con bajo grado de metamorfismo (facies de esquistos verdes). La secuencia no metamorfizada o con incipiente grado de metamorfismo, consiste de una serie de estratos de areniscas intercalados con paquetes de lutitas y limolitas, que en ocasiones presenta un horizonte delgado de calizas intercalado dentro de la secuencia terrígena.

Las rocas presentan una clasificación buena a media, en la que los fragmentos son de tamaño mediano y de forma angulosa y subangulosa, en ocasiones con algunos horizontes de arenas gruesas que cambian repentinamente en forma vertical a arenas medias a finas. Toda la secuencia se encuentra muy deformada, en la que se observan pliegues muy apretados y totalmente recostados, así como fuerte cizallamiento, en ocasiones de aspecto cataclástico. Debido a su grado de deformación es difícil estimar su espesor, el Servicio Geológico Mexicano calcula un espesor aproximado de 500 m en el área de Fresnillo.

Se correlaciona con la secuencia sedimentaria que Cserna (1976) denominó informalmente como Grupo Proaño, que aflora en las inmediaciones de Fresnillo, Zac., constituida por grauvacas y lutitas calcáreas-carbonosas, cuya edad asignada corresponde al Hauteriviano-Aptiano, por lo que se correlaciona en tiempo con las formaciones Taraises y La Peña del Terreno Sierra Madre.

Calizas y lutitas

Corresponde a una secuencia de calizas de estratificación delgada, a veces arcillosas, intercalada con horizontes laminares de lutitas y limolitas, sin utilizar un nombre formacional debido a que, para esta zona, aparentemente no existe un consenso de criterios para designarlas con algún nombre formal o informal.

Aflora principalmente en la región norte, en las inmediaciones de Ojocaliente, Tepezalá y al oeste de la Ciudad de Aguascalientes. Presenta bandeamiento o laminación, a veces muy fina, que se atribuye a la inclusión de sedimentos arcillosos dentro de la secuencia carbonatada, así como pequeños nódulos, bandas delgadas y

lentes alargados de pedernal. Debido a que la secuencia está muy deformada, es difícil medir su espesor. Sin embargo, en el área de Ojocaliente, Zacatecas, al suroeste de Pastoría, se calcula que su espesor es de al menos 200 m.

Sobreyacen en contacto transicional a los metasedimentos de la unidad Areniscas-Filitas y subyace en discordancia litológica a los sedimentos y materiales volcánicos del Cenozoico.

Por su posición estratigráfica y su contenido microfaunístico se le asigna una edad correspondiente al Albiano-Cenomaniano. La presencia de microorganismos de mar abierto, la textura de grano fino y la presencia de horizontes arcillosos, indica que su depósito se llevó a cabo en un ambiente marino profundo en condiciones de baja energía.

CENOZOICO

VULCANISMO DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

Cenozoico Volcánico Riolítico

El paquete de rocas volcánicas que fueron eyectadas durante el Cenozoico está conformado por una gran diversidad de composiciones, predominando la riolítica y únicamente hacia la base de la secuencia se presentan delgados horizontes andesíticos.

A continuación, se presenta la descripción de las diferentes rocas volcánicas cenozoicas.

Secuencia Volcánica Basal

Está representada por flujos piroclásticos de textura brechoide que frecuentemente afloran en las zonas de contacto con la columna metasedimentaria del Mesozoico. Presenta pseudoestratificación en la que el espesor varía desde unos cuantos centímetros, hasta capas medianas y gruesas de regular continuidad lateral, con oquedades producidas por el desprendimiento de los fragmentos líticos que ocasionalmente contiene.

Los flujos de detritos corresponden con la porción conglomerática y se presentan comúnmente intercalados entre tobas; se observan horizontes o lentes de espesor variable constituidos principalmente por fragmentos volcánicos de composición riolítica, y en menor proporción fragmentos de calizas, rocas metamórficas y granito.

El conjunto litológico es compacto, medianamente resistente a la erosión, de densidad baja, alto grado de porosidad y poco fracturadas. En ocasiones presenta rocas andesíticas de estructura masiva y textura afanítica a porfídica, como sucede en las márgenes del Río San Pedro, en las inmediaciones del poblado Genaro Codina.

Flujos piroclásticos riolíticos

Su distribución está asociada a la mayoría de los derrames volcánicos en diferentes niveles estratigráficos del conjunto volcánico Cenozoico, expuestos principalmente en la mayor parte de la Sierra Fría. Forman horizontes de estructura masiva de hasta 6 m de espesor, de textura arenosa y comúnmente con fragmentos líticos, soportados en una matriz arenosa fina.

Se presentan en forma compacta, moderadamente resistentes a la erosión, porosos y con facturas, algunas de ellas rellenas de material piroclástico más fino. Frecuentemente presenta asociadas brechas volcánicas, con abundantes fragmentos de riolitas de hasta 10 cm de tamaño; entre estos cuerpos se presentan delgados horizontes de flujos piroclásticos de textura arenosa, con abundantes líticos, preferentemente emplazados hacia la zona de contacto con las lavas riolíticas. El espesor de las distintas unidades piroclásticas es muy variable, hasta de 300 m; los más potentes en las inmediaciones del cuerpo principal de la Sierra Fría.

Ignimbritas

Esta unidad está ampliamente distribuida en la región y se encuentra asociada al cuerpo principal de la Sierra Fría, ocupando diferentes niveles estratigráficos dentro de la secuencia volcánica terciaria. Afloran en forma de cuerpos tabulares, conformando la morfología característica de mesetas, son de color rosa grisáceo y rosa pardo que intemperizan a color pardo rojizo y pardo grisáceo.

Generalmente presentan estructura de aspecto masivo con abundantes vesículas originadas por el escape de gases y fragmentos de pómez, así como bandeamiento que indica el flujo de las lavas.

Su textura es frecuentemente porfídica en un matriz afanítica, vítrea en la que están soportados fragmentos de vidrio y cristales de cuarzo y feldespatos, a veces soldados por la misma matriz. Se presentan compactas, resistentes a la erosión, de baja permeabilidad y porosidad, con un importante desarrollo de fracturamiento vertical,

en forma de columnas, que origina los típicos escarpes. Su disposición estructural subhorizontal permite definir espesores que varían de 50 a 150 m de potencia.

Riolitas

Agrupan flujos y estructuras dómicas formados por lavas de composición riolítica que se distribuyen en toda el área, teniendo su más amplio desarrollo en la extensa e imponente secuencia volcánica de la Sierra Fría y conformando los elementos topográficos de mayor elevación. Se presenta en forma de derrames de lava, de color rosa claro, en ocasiones con tonos pardos y rojizos, que al intemperismo muestran color pardo rosado o rosa grisáceo; con estructura masiva y fluidal. Generalmente constituyen domos y en donde presentan escarpes se desarrolla fracturamiento vertical que ocasiona la formación de columnas. En la Sierra Fría su espesor puede alcanzar 500 m de potencia. Por su posición estratigráfica se le asigna una edad Oligoceno-Mioceno

Cenoico Vulcanoclástico

Término que se utiliza para distinguir una serie de materiales vulcanoclásticos transportados por corrientes fluviales, depositados sobre las porciones más bajas que se localizan en la zona central del Valle de Aguascalientes.

Está conformado por un paquete de material arenoso dispuesto en capas delgadas con estratificación burda, en capas de 3 a 10 cm de espesor, de granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.

En ocasiones presentan conglomerados con fragmentos de rocas volcánicas riolíticas, soportados en una matriz areno tobácea, medianamente consolidados y deleznales, así como horizontes de caliche intercalados con las areniscas. No se puede determinar su espesor y solo conforma lomeríos que no rebasan los 15 m de altura.

Cubren de manera parcial y discordante a las tobas riolíticas y brechas volcánicas polimícticas de la base del Oligoceno, así como a la secuencia vulcanosedimentaria y subyace de la misma manera a los materiales residuales del Holoceno.

Por su posición estratigráfica y la naturaleza de los materiales que la integran, se considera que su edad corresponde al Mioceno.

CUATERNARIO

Basaltos de Pleistoceno

Flujos de lavas basálticas de color negro que al intemperismo muestran un color gris oscuro con tonos pardos, de estructura masiva, que al intemperizarse forman bloques irregulares o en ocasiones esféricos; presentan textura afanítica y estructura vesicular, fracturamiento variable con algunas fracturas rellenas de calcedonia.

Por su posición estratigráfica y por su asociación con los basaltos que afloran en otras localidades de la región, se les asigna una edad correspondiente al Pleistoceno, que representan el último evento magmático reconocido en la región asociado con extravasaciones de material muy profundo a través de zona de debilidad cortical.

Aluvión

Está constituido por fracciones de conglomerados y de arenas con estructura masiva o pobremente estratificada, poco consolidados a sueltos. Los fragmentos presentan en general formas subredondeadas a subangulosas. La porción arenosa se mezcla con limos y arcillas, y en ella se aprecian generalmente granos de cuarzo y de feldespatos.

Sobre estos materiales se observa una capa de suelo areno-arcilloso cubierta ocasionalmente por costras de caliche. Cubre discordantemente a la secuencia vulcanosedimentaria, así como a las tobas y conglomerados del Oligoceno; su espesor varía de 5 a 10 m.

4.2 Geología estructural

Desde el punto de vista estructural, la morfología del área está definida básicamente por eventos tectónicos distensivos que han definido estructuras regionales de gran importancia, como el llamado Graben de Aguascalientes, delimitado por fallas normales de orientación norte-sur, el cual fue rellenado principalmente por materiales piroclásticos retrabajados que cubren a rocas volcánicas y sedimentos pre-cuaternarios.

De esta manera, los principales lineamientos estructurales están representados por fallas normales en forma escalonada, que producen el modelo de fosas y pilares tectónicos que caracteriza a la región.

Las fosas presentan un rumbo general NE-SW, con un ancho de 12 km, como son las fosas Bolaños, Tlaltenango, Jalpa, Calvillo y Aguascalientes. En la fosa Jalpa están alojadas las calderas de Jalpa y Juchipila, en territorio del estado de Zacatecas.

Se presentan también fallas de rumbo N-S y otras en menor frecuencia con rumbo NW-SE, que se ubican en la porción norte y central de la región, respectivamente.

En el pilar tectónico de la Sierra de Morones existen conos volcánicos que originaron curvilineamientos de 15 a 20 km de diámetro; existen otros curvilineamientos paralelos que pueden deberse a calderas sepultadas, las cuales muestran un fallamiento radial de rumbo NE.

Las fases de deformación de la región se relacionan con eventos compresivos ocurridos durante el Mesozoico y Cenozoico y fases distensivas evidenciadas por el fallamiento normal y el emplazamiento plutónico Cretácico-Cenozoico así como el vulcanismo Cenozoico (Carta Geológico-Minera F13-9 "Aguascalientes", escala 1:250,000. SGM, 1998).

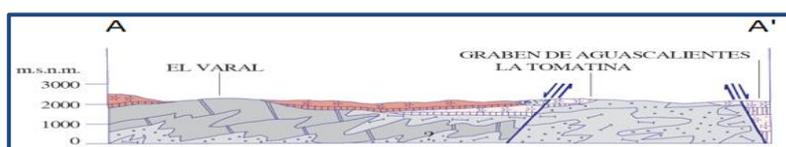
Existen también estructuras de deformación dúctil-frágil en la secuencia de rocas vulcanoclásticas y sedimentos metamorfoseados, representadas por foliación bien desarrollada; asociada con las fallas inversas que presentan diferentes orientaciones; se distinguen sistemas de falla inversas tipo "dúplex", las cuales se considera que juegan un papel muy importante en el mecanismo de deformación acrecional del Terreno Guerrero. La deformación frágil de la secuencia vulcanosedimentaria metamorfozada está representada por fallas y fracturas producidas por una dinámica asociada con movimiento lateral, las cuales definen planos verticales orientados en dirección NW.

4.3 Geología del subsuelo

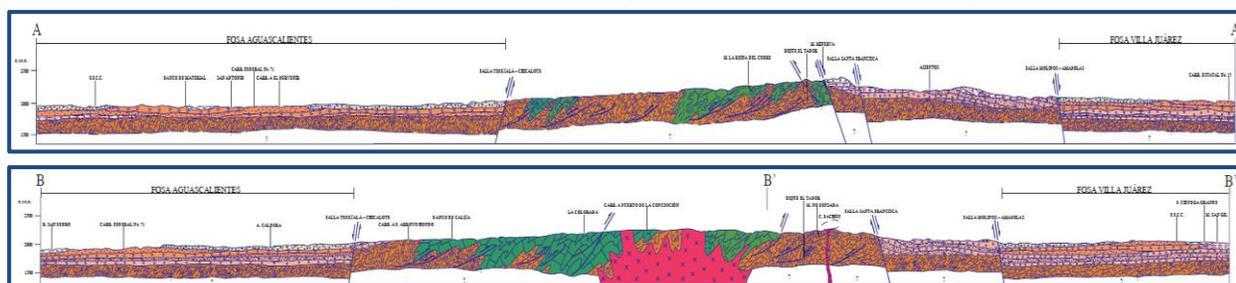
De acuerdo con la información geofísica obtenida en este estudio y otros previos, los cortes litológicos de pozos y las evidencias de campo, es posible definir que el acuífero se encuentra constituido, en su porción superior, por los depósitos granulares de origen aluvial y fluvial de granulometría variada y los conglomerados polimícticos que rellenan el valle tectónico.

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.

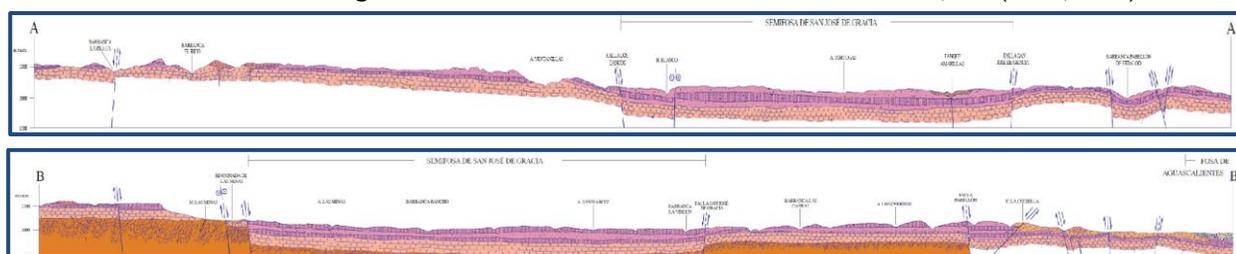
A mayor profundidad las calizas y areniscas representan un acuífero potencial que puede presentar condiciones de semiconfinamiento, debido a que están sobreyacidas y alternadas por lutitas y limolitas. Las fronteras y barreras al flujo subterráneo están representadas por las mismas rocas sedimentarias y volcánicas cuando a mayor profundidad desaparece el fracturamiento, y por rocas metamórficas y metasedimentarias; así como localmente por rocas intrusivas (figura 3).



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-9 Aguascalientes. Esc. 1:250.000 (SGM, 1998)



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-B89 "Rincón de Romos". Esc. 1:50,000 (SGM, 2001)



Fuente: Carta Geológica-Minera F13-B88 "Presidencia Calles". Esc. 1:50,000 (SGM, 2001)

Figura 3. Secciones Geológicas Esquemáticas

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica, geofísica, hidrogeológica y piezométrica, es posible definir la presencia de un acuífero de **tipo libre**, heterogéneo y anisótropo, constituido en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales, de granulometría variada y conglomerados, cuyo espesor puede alcanzar algunos cientos de metros en el centro del valle tectónico.

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.

En el valle 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 los estudios realizados en 2014, se ejecutaron 30 pruebas de bombeo de larga duración que fueron interpretadas por métodos analíticos convencionales y por el modelo numérico de Rathod y Rushton; adicionalmente se cuenta con información de otras pruebas realizadas en estudios previos, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación.

Los resultados de su interpretación indican que los valores medios de transmisividad varían de **0.1×10^{-3} a $15.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$** y los valores de conductividad hidráulica entre **2.4×10^{-6} y $2.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ (0.2 a 20.0 m/d)**. Ambos parámetros son representativos de materiales con granulometría fina, en general de permeabilidad media a baja.

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 indican que el rendimiento específico puede variar de 0.1 a 0.3 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 0.16.

5.3 Piezometría

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, existe información de diferentes años; sin embargo, debido a que para los últimos años se cuenta con mayor y mejor información piezométrica, para fines del balance de aguas subterráneas se consideró el periodo 2000-2014.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático en el año 2014 muestra valores que variaban de 80 a 150 m. Las menores profundidades, de 80 a 100 m, se registraron en la porción norte del acuífero, en la zona donde se ubica el Distrito de Riego 001 “Pabellón”, y en la región sur, al oeste del aeropuerto.

Los niveles más profundos, de 130 a 150 m, se presentan al norte de la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes y al sur del acuífero, entre los poblados Montoro y Hacienda Peñuelas; así como en los flancos oriental y occidental del acuífero.

Con excepción de las dos zonas mencionadas de mayor profundidad al nivel del agua subterránea, los valores se incrementan gradualmente, por efecto de la topografía, de la porción central del distrito de riego hacia las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero en sus extremos este y oeste (figura 4).

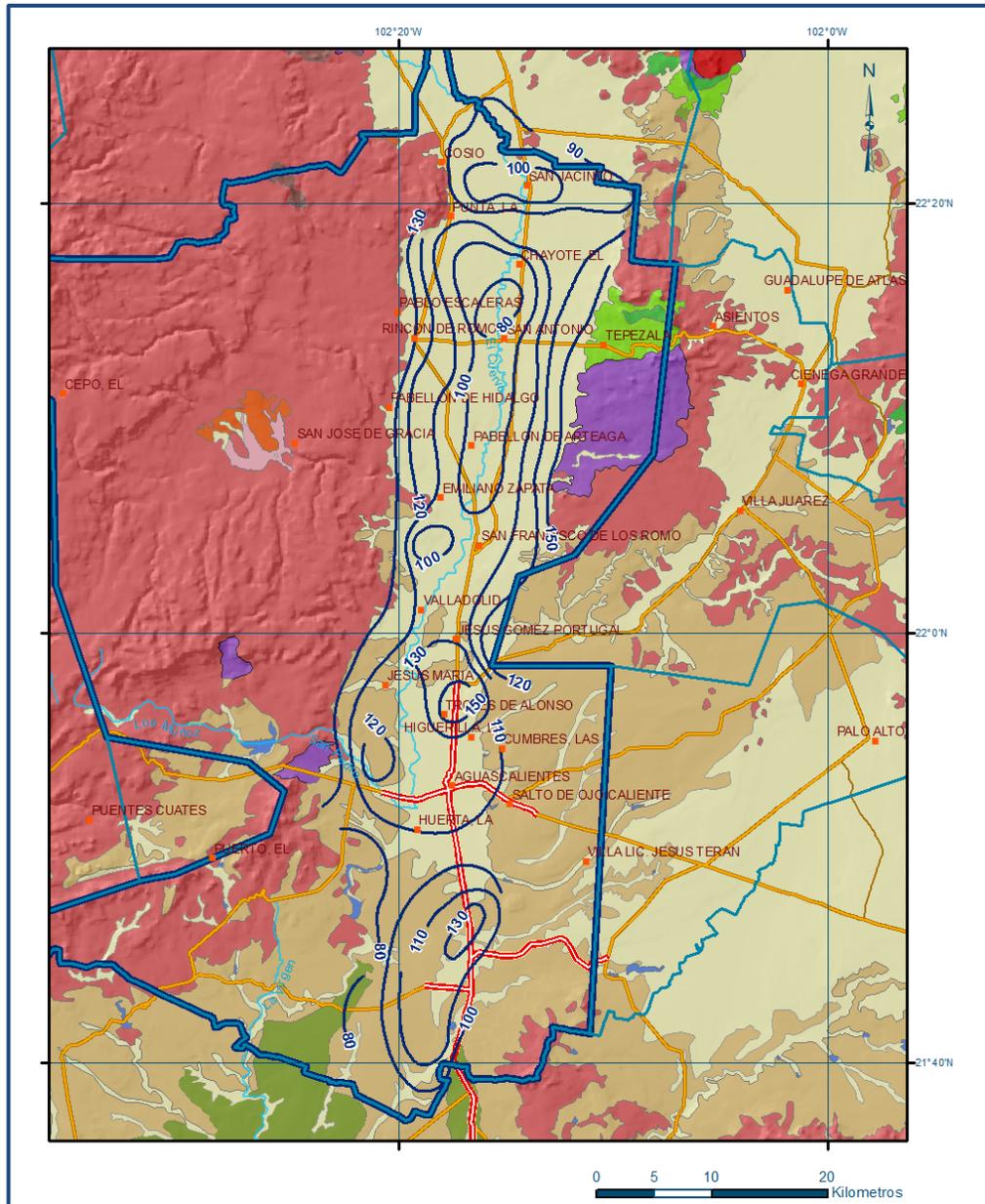


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2014)

5.4.2 Elevación del nivel estático

La elevación del nivel estático en 2014 varió de 1920 a 1,725 msnm, los valores mínimos, de 1,730 a 1,725 msnm, se registraron al sur del acuífero, en las inmediaciones de San Antonio de Peñuelas, en el límite con el acuífero vecino

Encarnación en el estado de Jalisco; en tanto que los valores máximos, 1,890 a 1,920 msnm, se registraron en la porción norte, en el límite con el acuífero vecino Ojocaliente, en el estado de Zacatecas.

De esta manera, se muestra una dirección preferencial del flujo subterráneo de norte a sur, a lo largo de todo el valle que define el acuífero Interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación, con tendencia a concentrarse en la zona donde se ubica el distrito de riego y la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes. En la porción sur, todavía se presentan salidas subterráneas hacia el acuífero Encarnación (figura 5).

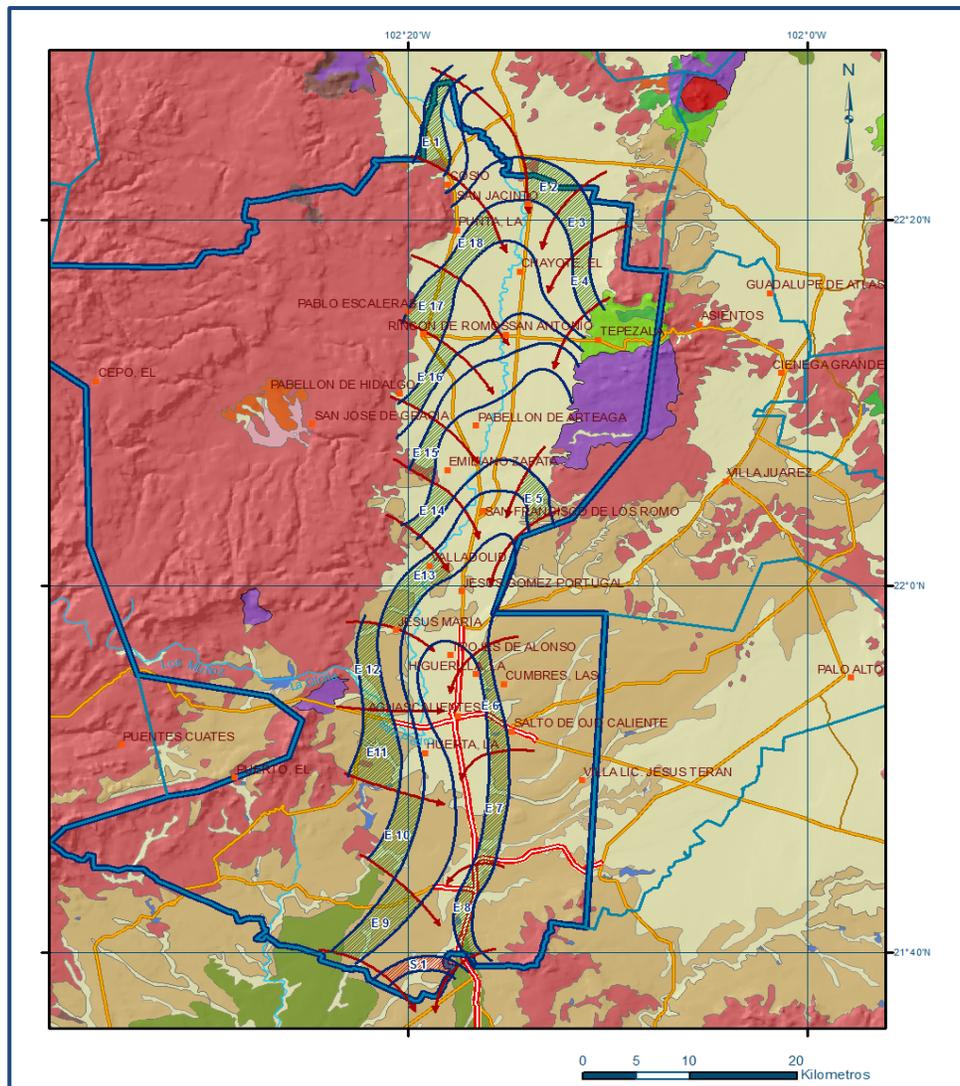


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2014)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La evolución del nivel estático en el periodo 2000-2014 muestra abatimientos generalizados en toda la superficie del acuífero, cuyos valores extremos varían de 5 a 25 m, que representan 0.4 a 1.8 m anuales. Los mayores abatimientos, de 15 a 25 m, se registran al norte del acuífero, en la zona del distrito de riego, donde se concentra la extracción para uso agrícola.

En esta región el abatimiento promedio anual es de 1.5 m. En la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes y sus inmediaciones, el abatimiento promedio anual es de 1.0 m.

En la superficie restante del acuífero, los abatimientos varían de 3 a 10 m, con un valor promedio anual 0.5 m (figura 6).

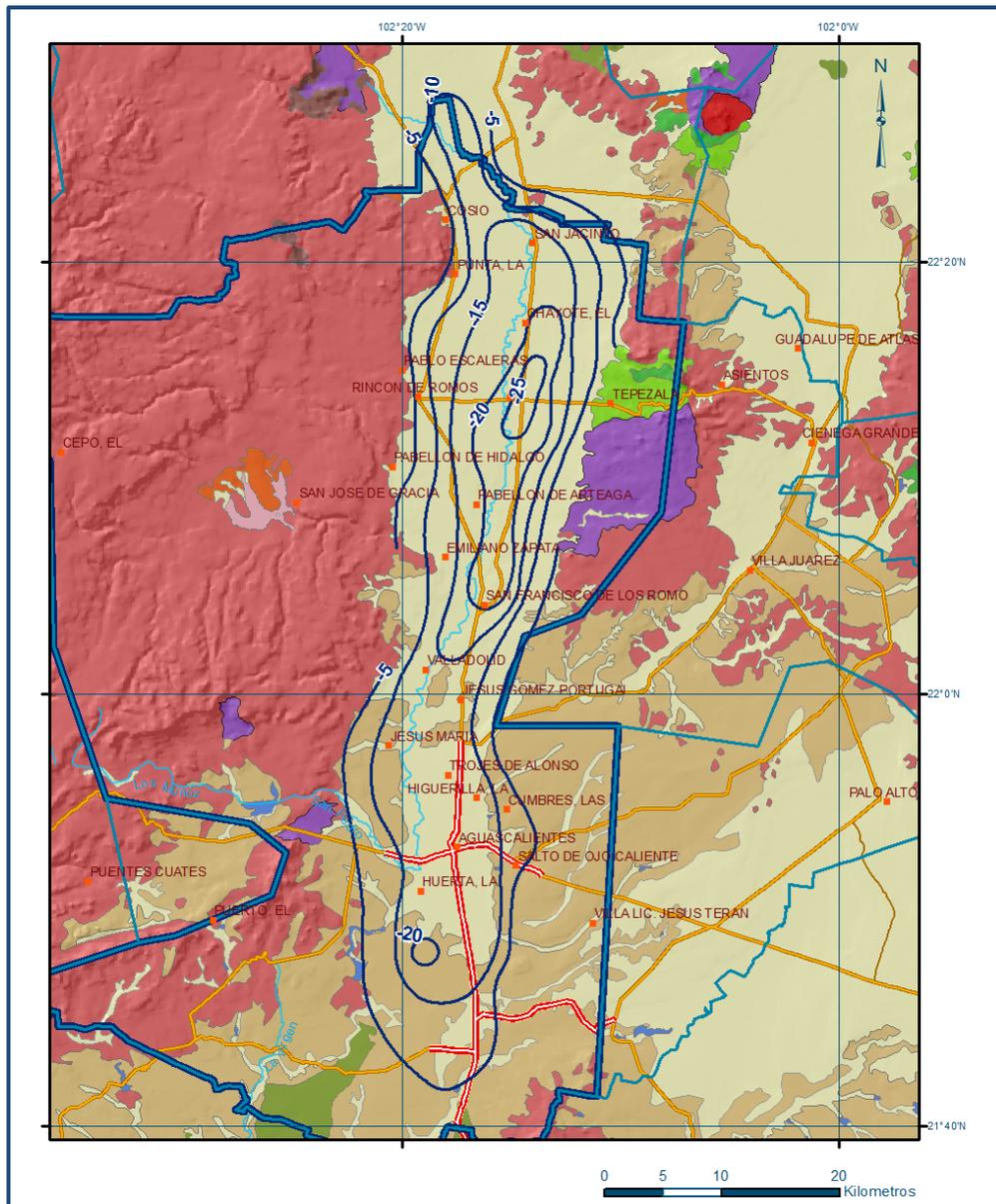


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (2000-2014)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Como parte de los trabajos de campo considerados en el estudio realizado en 2014, se tomaron muestras de agua en 50 aprovechamientos para la caracterización hidrogeoquímica y su análisis fisicoquímico correspondiente. Además de algunas mediciones hechas in situ, las determinaciones de laboratorio incluyeron parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, temperatura, conductividad eléctrica, iones principales, sólidos totales disueltos (STD), alcalinidad, potencial de hidrógeno (pH), potencial redox (Eh), nitratos, dureza total y dureza al calcio. Adicionalmente, se determinaron las concentraciones de hierro, plomo, arsénico, aluminio, boro, flúor y mercurio.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos, en todos los aprovechamientos no se sobrepasa el límite de sólidos totales disueltos que es de 1000 mg/l, establecido por la modificación a 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 de concentración de STD varían 130 a 520 mg/l. En cuanto a la conductividad eléctrica, el agua se clasifica como dulce, de acuerdo al criterio establecido por la American Public and Health Association (APHA, 1995), ya que sus valores varían de 281 a 932 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los mayores valores de concentración de STD y de conductividad eléctrica se registran en la porción central del acuífero; en tanto que las menores se localizan hacia las zonas de recarga que se ubican al norte y en los flancos oriental y occidental. Ambos valores se incrementan gradualmente desde las estribaciones de las sierras que delimitan el acuífero, hacia el centro del valle y de norte a sur a lo largo de él, en la dirección del escurrimiento superficial.

De los resultados obtenidos, con base en los elementos y determinaciones que considera la NOM-127-SSA1-1994, las concentraciones que superan los límites máximos permitidos (LMP) son los nitratos y flúor. La temperatura varía de 22.8 a 44.2 °C y el pH de 6.6 a 8.2.

Es posible que la presencia de sodio se relacione a circulación profunda o intermedia a altas temperaturas, a través de rocas de composición riolítica. De manera general, la concentración de salinidad asociada a la presencia de sodio se incrementa de norte a sur, confirmando con ello la dirección preferencial del flujo subterráneo norte-sur.

Por otra parte, de acuerdo con el criterio de Wilcox, que relaciona la conductividad eléctrica con la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), de las 50 muestras recolectadas 45 se clasifican como C_2-S_1 , que representa agua con salinidad media y bajo contenido de sodio intercambiable, apropiada para casi todos los cultivos en todo tipo de suelo, y las 5 muestras restantes se clasifican como C_3-S_1 , que representa salinidad alta y bajo contenido de sodio intercambiable; que sólo se puede utilizar en cultivos tolerantes a las sales y en suelos con buen drenaje.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en 2014, se registraron un total de 1830 aprovechamientos del agua subterránea, de los cuales 1769 son pozos y 61 norias; de ellos 1468 se consideran activos y 362 inactivos. De las obras activas, 852 (58.0 %) se destinan al uso agrícola, 371 (25.3%) al uso público-urbano, 148 (10.1%) para uso industrial y múltiples, 40 (2.7%) para servicios, 31 (2.1 %) para uso pecuario y 26 (1.8%) para uso doméstico.

El volumen de extracción calculado es de **427.4 hm³ anuales**, de los cuales 258.6 hm³ (60.5 %) son para uso agrícola, 132.9 hm³ (31.1 %) para uso público-urbano, 11.6 hm³ (2.7 %) para uso industrial, 2.7 hm³ (0.6 %) para uso doméstico y pecuario, 2.5 hm³ (0.6 %) para servicios y 19.1 hm³ (4.5 %) para usos múltiples.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 2000-2014, en una superficie de **1350 km²**, 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 la masa es la siguiente:

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

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

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

7.1 Entradas

De acuerdo con el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero, la recarga total que recibe (R) ocurre por tres procesos naturales principales: por infiltración de agua de lluvia que se precipita en el valle y a lo largo de los ríos 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, constituye otra fuente de recarga al acuífero (Ri).

Para este caso, a pesar de que se utiliza un volumen importante de agua para uso agrícola, el uso de sistemas tecnificados en el distrito de riego y la profundidad media de 100 m al nivel del agua subterránea en las zonas agrícolas, reducen al mínimo la recarga efectiva al acuífero, ya que sería necesario primero humedecer y después saturar el espesor total de la zona no saturada.

Lo mismo sucede con el agua utilizada para el abastecimiento de agua potable, 132.9 hm³ anuales, que en volumen es menor al agua utilizada en la agricultura; además en la zona urbana la profundidad al nivel estático es mayor a 120 m.

Por estas razones, para fines del balance de aguas subterráneas, se considera que la recarga incidental, si es que ésta se produce, es mínima y en todo caso su valor queda implícito en la recarga vertical.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

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

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

Donde:

- Rv:** Recarga Vertical
- Eh:** Entradas subterráneas por flujo horizontal
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas subterráneas por flujo horizontal
- $\Delta V(S)$:** Cambio de almacenamiento

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

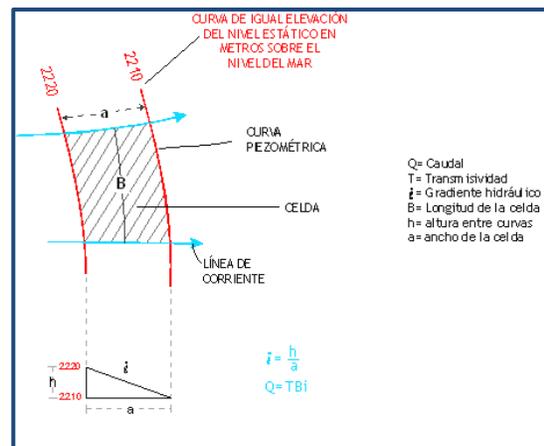
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

Una fracción del volumen de lluvias que se precipita en las zonas topográficamente más altas del acuífero se infiltra por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas y a través del piedemonte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan la zona de explotación. Para el cálculo de entradas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la configuración de elevación del nivel estático correspondiente al año 2014, mostrada en las figuras 5. Con base en ella 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)
- B** = Longitud de la celda (m)
- i** = Gradiente Hidráulico (adimensional)
- T** = Transmisividad (m^2/s)



La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada una de las celdas definidas. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda. El volumen total de entradas por flujo subterráneo horizontal es de **83.1 hm³/año**.

Los valores de transmisividad utilizados para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas son los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo, adaptadas al espesor saturado en cada zona.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2014)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h_2-h_1 (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
E1	9150	1915	10	0.00522	0.0015	0.0717	2.3
E2	4680	4040	30	0.00743	0.0020	0.0695	2.2
E3	4255	2980	30	0.01007	0.0020	0.0857	2.7
E4	5745	1915	30	0.01567	0.0020	0.1800	5.7
E5	3405	2125	20	0.00941	0.0020	0.0641	2.0
E6	10640	1700	10	0.00588	0.0017	0.1064	3.4
E7	11490	2125	10	0.00471	0.0017	0.0919	2.9
E8	9785	1700	10	0.00588	0.0017	0.0979	3.1
E9	8935	3190	10	0.00313	0.0050	0.1400	4.4
E10	8085	2555	20	0.00783	0.0050	0.3164	10.0
E11	7660	3615	30	0.00830	0.0050	0.3178	10.0
E12	8935	2125	30	0.01412	0.0030	0.3784	11.9
E13	8510	2765	20	0.00723	0.0050	0.3078	9.7
E14	5530	1490	10	0.00671	0.0020	0.0742	2.3
E15	5105	1615	10	0.00619	0.0020	0.0632	2.0
E16	7020	1490	10	0.00671	0.0020	0.0942	3.0
E17	6810	3405	20	0.00587	0.0020	0.0800	2.5
E18	6595	2765	20	0.00723	0.0020	0.0954	3.0
Total entradas							83.1

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B). No existen descargas naturales por evapotranspiración, flujo base ni manantiales. De manera natural, todavía se presenta una salida subterránea (Sh) en la porción sur del acuífero, en las inmediaciones del poblado Peñuelas, hacia el acuífero vecino Encarnación, del estado de Jalisco, que junto con la porción norte, en el acuífero Ojocaliente del estado de Zacatecas, forman el acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación.

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 **427.4 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas por flujo subterráneo se calcularon de la misma manera que las entradas subterráneas, a partir de la configuración de elevación del nivel estático 2014, mostrada en la figura 5. El cálculo se muestra en la tabla 3.

El volumen total estimado es de **2.4 hm³ anuales**.

Tabla 3. Cálculo de salidas por flujo subterráneo (2014)

CELDA	LONGITUD B (m)	ANCHO a (m)	h ₂ -h ₁ (m)	Gradiente i	T (m ² /s)	CAUDAL Q (m ³ /s)	VOLUMEN (hm ³ /año)
S1	6380	1490	5	0.00336	0.0035	0.0749	2.4
Total salidas							2.4

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 2000-2014 (figura 6). Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico S_y de 0.16, 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 (km²)
- h:** Valor de la variación piezométrica en el período (m)

El detalle de cálculo se presenta en la tabla 4, en la que se puede observar que el cambio de almacenamiento para el periodo es de -2522.5 hm³, por lo que el promedio anual es de **-180.2 hm³**

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (2000-2014)

Evolución (m)	Evolución media (m)	Área (km ²)	S_y	$\Delta V(S)$ (hm ³ /año)
-25	-25.0	12.7	0.16	-50.8
-20	-20.0	4.5	0.16	-14.4
-20 a -25	-22.5	81.4	0.16	-293.0
-15 a -20	-17.5	278.4	0.16	-779.5
-10 a -15	-12.5	385.5	0.16	-771.0
-5 a -10	-7.5	359.3	0.16	-431.2
-5.0	-5.0	228.2	0.16	-182.6
		TOTAL	TOTAL	-2522.5
		Promedio anual		-180.2

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 (Rv), mediante la expresión que fue establecida con anterioridad:

$$\begin{aligned} R_v &= B + Sh \pm \Delta V(S) - Eh \\ R_v &= 427.4 + 2.4 - 180.2 - 83.1 \\ R_v &= 166.5 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

De esta manera, la recarga total es la suma de todas las entradas:

$$\begin{aligned} R &= 166.5 + 83.1 \\ R &= 249.6 \text{ Mm}^3 \text{ anuales} \end{aligned}$$

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 con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **249.6 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **2.4 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas subterráneas que aún presenta el acuífero en su porción sur, a la altura del poblado Peñuelas, hacia el acuífero vecino Encarnación. **DNC = 2.4 hm³ anuales.**

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 **342,958,309 m³ anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 249.6 - 2.4 - 342.958309 \\ \text{DMA} &= -95.758309 - \text{hm}^3/\text{año}. \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario el déficit es de **95,758,309 m³ anuales**.

9. BIBLIOGRAFÍA

BURGÉAP, 1999. Estudio para la Optimización de la Explotación del Acuífero del Valle de Aguascalientes.

Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, 1990. Estudio de Exploración Geofísica en la Zona Sur del Valle de Aguascalientes.

Comisión Nacional del Agua, 1991. Estudio Geohidrológico del Sur del Valle de Aguascalientes, comprendiendo Peñuelas y el Sureste del Valle de Aguascalientes. Realizado por Exploraciones Coordinadas, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 1996. Estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de la Red de Observación del Acuífero de Aguascalientes. Realizado por Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V.

Comisión Nacional del Agua, 2001. Cuantificación de los Volúmenes de Extracción de los Acuíferos Interestatales: Valle de Aguascalientes, Encarnación y Ojocaliente, estados de Ags., Jal. y Zac. Realizado por Gondwana Exploraciones, S.C.

Comisión Nacional del Agua, 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle de Aguascalientes, estado de Aguascalientes.

Comisión Nacional del Agua, 2003. Integración del Plan de Manejo para el Acuífero Interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación. Realizado por Desarrollo y Sistemas, S.A.

Comisión Nacional del Agua, 2014. Actualización del Estudio Geohidrológico y Geoquímico del Acuífero del Valle de Aguascalientes, en el estado de Aguascalientes. Realizado por la SANX, Ingeniería Integral y Desarrollo, S.A. de C.V.

Gobierno del Estado de Aguascalientes, Secretaría de Desarrollo Social, 1995. Definición del Flujo Regional del Agua Subterránea, su Potencialidad y Uso en la Zona de la Ciudad de Aguascalientes. Realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Actualización del Estudio Geohidrológico en los Valles de Aguascalientes, Chicalote, Calvillo y Venadero, el estado de Aguascalientes. Realizado por Consultores, S.A.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1981. Sinopsis Geohidrológica del estado de Aguascalientes.

Secretaría de Obras Públicas, 1990. Estudio Geohidrológico del Valle de Aguascalientes, localidad de Ojocaliente y sureste de la Ciudad de Aguascalientes. Realizado por ETEISA, S.A. de C.V.

Servicio Geológico Mexicano, 1998. Carta Geológico-Minera F13-9 "Aguascalientes", escala 1:250,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2001. Carta Geológico-Minera F13-B88 "Presa Presidente Calles", escala 1:50,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2001. Carta Geológico-Minera F13-B89 "Rincón de Romos", escala 1:50,000.