



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VENADERO (0104), ESTADO DE
AGUASCALIENTES**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

Contenido

1. GENERALIDADES.....	2
Antecedentes.....	2
1.1. Localización.....	2
1.2. Situación Administrativa del acuífero.....	4
2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD	4
3. FISIOGRAFÍA.....	5
3.1 Provincia Fisiográfica	5
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	7
4. GEOLOGÍA	7
4.1 Estratigrafía	8
4.2 Geología Estructural.....	11
4.3 Geología del subsuelo	11
5. HIDROGEOLOGÍA.....	12
5.1 Tipo de acuífero.....	12
5.2 Parámetros hidráulicos.....	13
5.3 Piezometría.....	13
5.4 Comportamiento hidráulico	13
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	13
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	14
5.4.3 Evolución del nivel estático	15
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	16
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	16
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	17
7.1 Entradas.....	17
7.1.1 Recarga vertical (Rv).....	18
7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)	18
7.2 Salidas	19
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	20
7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)	20
7.2.3 Evapotranspiración	20
7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS).....	20
8. DISPONIBILIDAD	22
8.1 Recarga total media anual (R)	22
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	22
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	23
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	23
9. BIBLIOGRAFÍA	24

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 de Venadero, definido con la clave 0104 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción sur del estado de Aguascalientes, entre las coordenadas geográficas 21° 48' y 21° 56' de latitud norte y 102° 25' y 102° 33' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 111 km².

Limita al norte, este y sur con el acuífero Valle de Aguascalientes y al oeste con el acuífero Valle de Calvillo, ambos del estado de Aguascalientes. (Figura 1).

Geopolíticamente, el acuífero queda comprendido totalmente dentro del municipio Jesús María. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

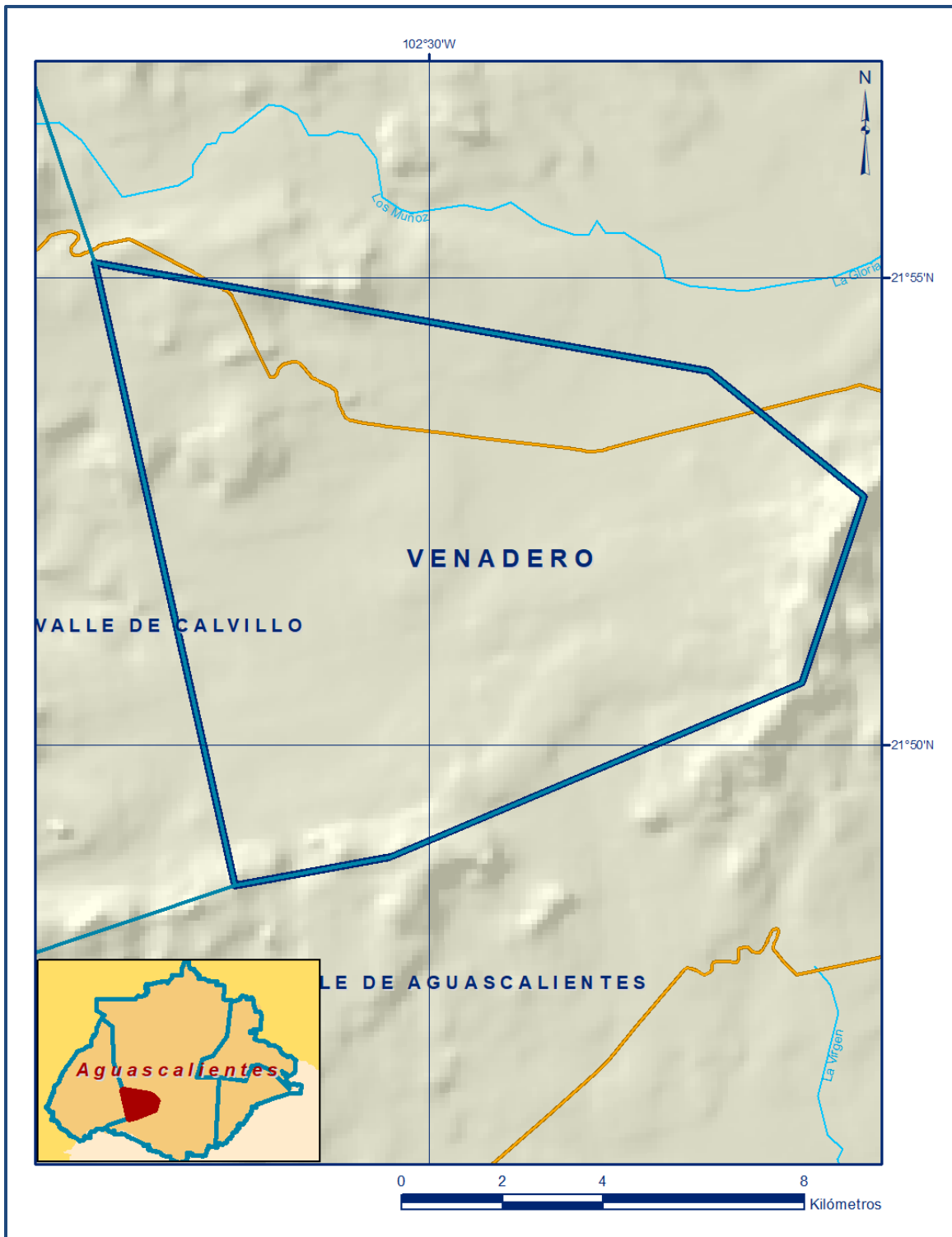


Figura 1. Localización del acuífero

1.2. Situación Administrativa del acuífero

El acuífero Venadero pertenece a la región Hidrológico-Administrativa VIII “Lerma-Santiago-Pacífico” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Aguascalientes. Su territorio completo se encuentra 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.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 01 04 VENADERO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	33	35.0	21	55	10.0
2	102	27	0.0	21	54	0.0
3	102	25	20.0	21	52	40.0
4	102	26	0.0	21	50	40.0
5	102	30	25.1	21	48	48.1
6	102	32	5.0	21	48	30.0
1	102	33	35.0	21	55	10.0

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1. El usuario principal es el agrícola y corresponde a la Asociación de Producción La Boquilla y Los Bajío. El acuífero forma parte del Consejo de Cuenca “Río Santiago” instalado el 14 de julio del 1999. En su territorio no existe ningún Distrito ni Unidad de Riego “, ni se ha constituido a la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Debido a la pequeña extensión superficial del acuífero y en general del estado de Aguascalientes, se han realizado estudios geohidrológicos de tipo regional que incluyen a este y los acuíferos restantes del estado. Aunque algunos estudios mencionan que incluyen al acuífero Venadero, son en realidad sólo incluyen a los valles de Aguascalientes y Calvillo. Sin embargo, contienen información general que aplica a todo el estado. Entre los más importantes se mencionan los siguientes:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO COMPLETO DE LOS ACUÍFEROS EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1971 por la empresa Ariel Construcciones, S.A. Contiene actividades de carácter hidrogeológico como censo, piezometría, nivelación de

brocales y ejecución de pruebas de bombeo, cuya información sirvió para el planteamiento del balance de aguas subterráneas.

ACTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN LOS VALLE DE AGUASCALIENTES, CHICALOTE, CALVILLO Y VENADERO, EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES. Realizado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) en 1981 por la empresa Consultores, S.A. 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. 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 que 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. En el aspecto geológico, menciona que el acuífero Venadero está constituido por conglomerados y rocas riolíticas fracturadas, que subyacen a depósitos fluviales de espesor reducido, que en algunos lugares son parte de ellos y en otros forman acuíferos colgados que los alimentan; se caracterizan por la irregular distribución de su permeabilidad, que se manifiesta en el rendimiento variable de los pozos.

De los estudios anteriores se cuenta con información de cortes litológicos y un registro piezométrico histórico sistemático desde los 80´s, que lleva a cabo actualmente la Dirección Local Aguascalientes de la CONAGUA.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincia Fisiográfica

De acuerdo con la clasificación de E. Raisz (1965), el área del acuífero pertenece al flanco oriental de la Sierra Madre Occidental, caracterizándose por la presencia de Sierras paralelas, coronadas por amplias Mesetas constituidas por la alternancia de tobas e ignimbritas de composición riolítica y orientadas NNE-SSW, cuya altura media sobre el nivel del mar del orden de 2400 m. Las mismas mesetas están separadas entre

sí por valles con amplitudes que varían de 3 a 16 km, constituidos de clásticos aluviales y depósitos lacustres, cuyos espesores en ocasiones sobrepasan los 100 m.

Dentro del estado de Aguascalientes la Provincia Fisiográfica está representada por la Subprovincia Sierras y Valles Zacatecanos, la cual se localiza al oeste, abarcando cerca de 2,635 km² del Estado, comprendiendo los municipios de Calvillo y San José de Gracia y parte de Aguascalientes, Cosío, Jesús María, Pabellón de Arteaga y Rincón de Romos. Se caracteriza presencia de sierras paralelas, coronadas por amplias mesetas constituidas por la alternancia de tobas e ignimbritas de composición riolítica y orientadas NNE-SSW, cuya altura media sobre el nivel del mar del orden de 2400, frecuentemente rematadas por mesetas, que se alternan con valles también alargados en ese sentido que varían su amplitud de 3 a 16 km y cuyos pisos son a veces de pendiente suave, pero con mayor frecuencia presentan terrazas y lomeríos, probable producto de la erosión de antiguos pisos de valles más altos que los actuales. El drenaje desemboca hacia el sur en el Río Grande de Santiago. Hacia la parte baja, ubicada en el extremo nororiental y fuera de los límites del acuífero, predominan los materiales finos, donde se aloja la presa "Abelardo Rodríguez, localizada en el acuífero Valle de Aguascalientes.

A diferencia de las subprovincias centrales de la Sierra Madre Occidental, en ésta no hay una predominancia de grandes mesetas altas y cañones; las primeras se encuentran sustituidas por sierras y los últimos por rellenos por materiales de acarreo y transformados en valles. Estos sistemas son los que dominan en la subprovincia, pero también se presentan superficies de mesetas pequeñas, aisladas o en conjunto y lomeríos asociados con cañadas, en pequeños grupos o aislados, en los pisos amplios de valles.

3.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por E. García para las condiciones de la República Mexicana, el clima dentro del área que cubre el acuífero es del tipo Bsbkw, estepario o semidesértico, con lluvias en verano. La precipitación media anual varía de 500 a 600 mm, con una media de 551 mm, concentrada principalmente en los meses de julio a agosto. La máxima incidencia de lluvia se presenta en el mes de agosto y la mínima ocurre en febrero.

La temperatura media anual oscila entre 13 y 21° C con una media de 17.6° C. La temperatura máxima se registra en el mes de mayo, mientras que la mínima se

presenta en el mes de enero. En esta zona son frecuentes las heladas en Invierno (noviembre a febrero), presentándose en promedio 23 días. La evaporación potencial media anual estimada para la zona asciende a 2090 mm.

3.3 Hidrografía

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

La parte nororiental es drenada por los arroyos Los Caños, Tampico y Arroyo Blanco, los cuales descargan a la Presa Abelardo Rodríguez en la cuenca del Río San Pedro afluente del Río Verde. Las porciones central y surponiente del valle son drenadas por el arroyo El Álamo hasta la Presa Tapias Viejas; mientras que la porción norponiente es drenada por el arroyo La Boquilla, ambos afluentes del Río Gil o Texas a su vez afluente del Río Calvillo.

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 su cauce para aprovechar su caudal. Entre las más importantes podemos mencionar las presas Tapias Viejas, El Pedernal, Los Caballos y Los Dolores.

3.4 Geomorfología

Morfológicamente al región presenta dos características principales: la primera corresponde a la continuación hacia el sur de la Sierra Fría, en la zona norponiente del acuífero, con elevaciones promedio de 2000 msnm, caracterizada por topografía abrupta en las partes altas que se suavizan hacia el centro del valle; la porciones oriente y sur se localizan en un valle conformado por diferentes cerros como El Picacho, El Muerto, El Potosí, etc., pertenecientes a la parte norte de la Sierra El Laurel, con elevaciones de hasta 2000 msnm.

4. GEOLOGÍA

Los principales afloramientos están representados por conglomerados y areniscas, en menor proporción material aluvial, representados por gravas y arenas de grano grueso del Plioceno.

Circundando a estas unidades, en sus porciones norte y sur, existen afloramientos de riolita y tobas ácidas que constituyen las elevaciones que delimitan el acuífero. Fuera

del acuífero, hacia la región nororiental se presentan rocas metamórficas, las cuales aparecen en los cortes de la carretera a la Cabecera Municipal de Calvillo. La porción suroeste está flanqueada por conglomerados que en su contacto con la riolita y debido a la erosión forma un arroyo que sirve de dren a una parte de las aguas superficiales que escurren de la parte alta, con dirección hacia el poniente. El área del acuífero se aloja en una pequeña cuenca rellena con depósitos clásticos continentales del Cuaternario, cuyo espesor oscila entre 60 y 160 m aproximadamente. Dichos depósitos sobreyacen a roca riolítica que funciona como capa confinante inferior (Figura 2)

4.1 Estratigrafía

Fuera del acuífero, la cartografía geológica superficial realizada en algunos estudios señala la existencia de diferentes unidades geológicas. La formación más antigua que existe en el área consiste de rocas sedimentarias e ígneas débilmente metamorizadas de edad correspondiente al Jurásico-Cretácico. En el área de La Tomatina las rocas consisten de areniscas con intercalaciones de lutitas que presentan metamorfismo de tipo regional (fases de esquistos verdes) en el contacto con rocas ígneas muy alteradas; mientras que en el área del Varal existen metacalizas de color oscuro, microcristalinas, poco alteradas. Aranda Gómez (op. cit.) denominó a esta unidad, informalmente, como "Complejo Basal". Por su estructura masiva, representan el basamento regional.

A nivel regional, la estratigrafía está representada por unidades que abarcan del Cretácico Inferior al Cuaternario. La Unidad más antigua corresponde a una secuencia vulcanosedimentaria que ha sido denominada informalmente por Velasco H.M. (1989) como formación Cieneguita (KiMar-MA), constituida por andesitas, areniscas y lutitas. Descansando sobre ella está en contacto concordante la unidad denominada informalmente por el mismo autor como formación El Varal (KiMCz), constituida por calizas, lutitas con bandas y nódulos de pedernal; estas unidades se manifiestan como afloramientos de reducida extensión, en forma de ventanas estructurales, que 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 una época de no depósito durante el periodo Cretácico Superior al Eoceno. Sus afloramientos se localizan en los poblados La Tomatina y el Varal, ubicados a 10 km al W y 20 km al NW, respectivamente, de la ciudad de Aguascalientes (Carta Geológica-Minera F13-9 Aguascalientes Esc. 1:250.000 SGM, 1998).

En la región que comprende el acuífero afloran rocas sedimentarias continentales, ígneas extrusivas y piroclástica, cuya edad varía del Paleógeno al Reciente.

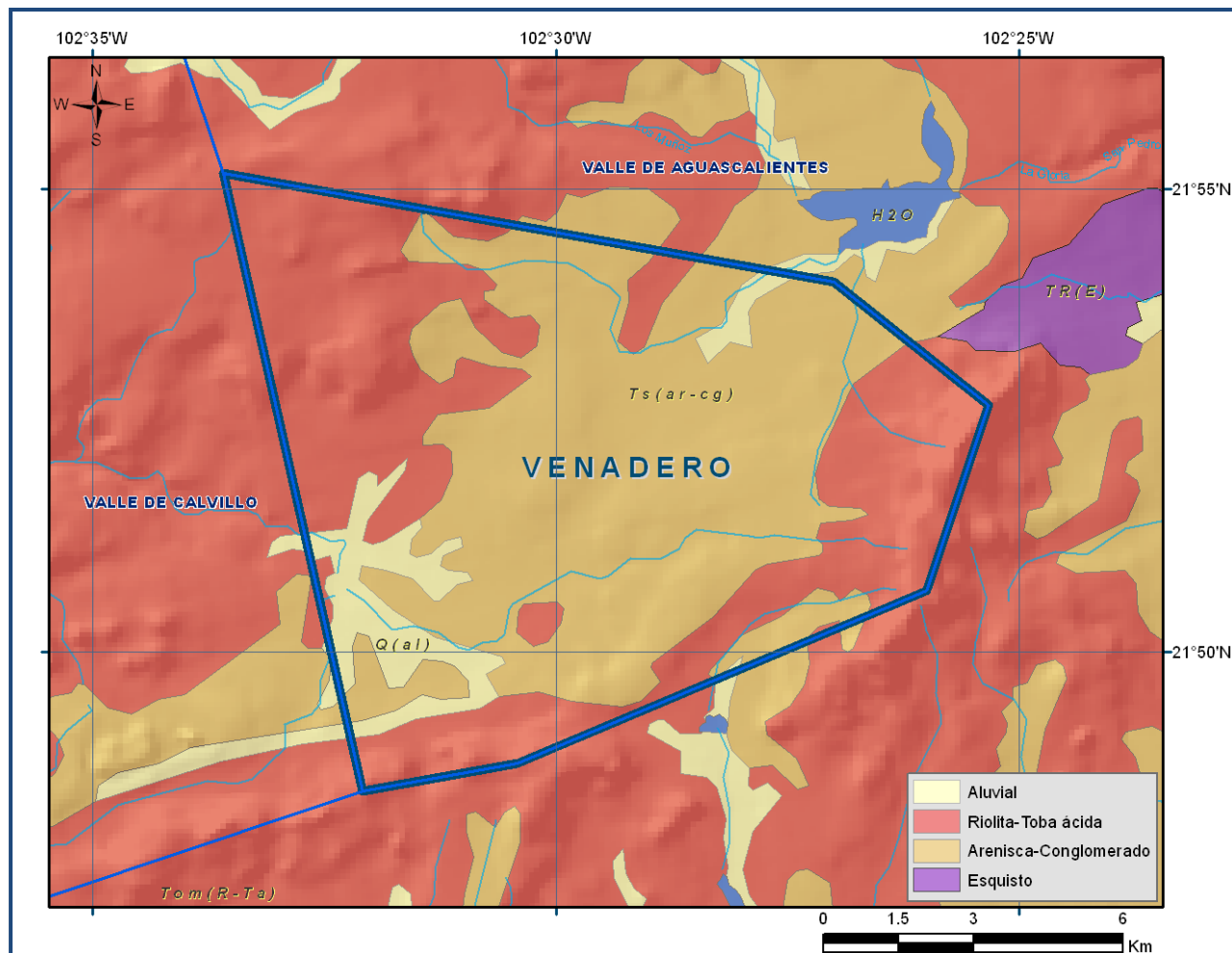


Figura 2. Geología general del acuífero

PALEÓGENO-NEÓGENO

Las rocas que componen esta unidad son básicamente ignimbritas compactas, con escasas intercalaciones de tobas soldadas. Estas rocas fueron detectadas en el sondeo exploratorio en el ejido Tapias Viejas y subyaciendo a horizontes de tobas riolíticas; presentan una coloración obscura y se desconoce su espesor. Generalmente presentan colores rosado pardo y rojizo, que intemperizan en tonos más oscuro. También a esta unidad pertenecen las riolitas que se localizan circundando el área formando una serie de escarpes, cantiles y mesetas; se caracterizan por su color café rojizo, café morado o café rosado, presentan una textura afanítica porfídica con cristales de cuarzo. Presentan estructura fluidal y esferulítica cuando se presenta en forma de derrames vítreos.

Por la posición que guardan estas rocas con respecto a las tobas y conglomerados, se les asigna tentativamente una edad Paleógeno Superior-Neógeno Inferior. En la

mayor parte de los escarpes donde aflora esta unidad, se observan fracturamientos verticales, formando bloques, por lo que no funcionan como acuíferos; sin embargo, son capaces de transmitir agua a las rocas subyacentes y hacia los valles.

Este tipo de rocas se han detectado tanto en la perforación de pozos para explotación como en los sondeos exploratorios y forman el fondo rocoso del acuífero, encontrando la cima a diferentes profundidades.

CUATERNARIO

Dentro del Cuaternario se diferenciaron las arenas tobáceas, areniscas, conglomerados, así como depósitos aluviales, fluviales y de pie de monte.

Arenas tobáceas y areniscas. Estos sedimentos continentales la parte baja de la cuenca, aflorando en forma de pequeños lomeríos redondeados de forma suave. Debido a su permeabilidad, estos depósitos son importantes desde el punto de vista geohidrológico; por su posición estratigráfica con respecto a las rocas volcánicas que cubren. Se les asigna tentativamente una edad correspondiente al Cuaternario Inferior.

Gravas arenosas. Con este nombre se identifica a la parte superior de las arenas tobáceas y han sido identificadas en casi todos los pozos perforados en el acuífero, se componen de clásticos gruesos, gravas y arenas de grano medio, que alternan con horizontes de arenas de grano grueso. Generalmente estos materiales son buenos productores de agua, cuando se encuentran en la zona de saturación.

Depósitos aluviales. Comprende a los suelos arenolimosos que ocupan parcialmente las planicies y desde el punto de vista geohidrológico, presenta buenas características para la infiltración del agua meteórica o de riego.

Depósitos de pie de monte. Estos depósitos se presentan en las estribaciones de las sierras y consisten en arenas, gravas y cantos de forma angular y mal clasificados. Presentan buena permeabilidad, permitiendo infiltración del agua hacia las unidades subyacentes.

Depósitos fluviales. Este tipo de materiales se encuentran sobre los cauces de los ríos y arroyos y consisten en arenas, limos y gravas. Geohidrológicamente funcionan como transmisores de agua a las formaciones subyacentes ya que su espesor es muy reducido.

4.2 Geología Estructural

A nivel regional, la geología estructural es el resultado del diastrofismo provocado tanto por la Revolución Laramide que plegaron y afallaron los sedimentos marinos, como por los asentamientos postlaramídicos que provocaron el fallamiento en bloques que generaron cuencas tectónicas o grabens. Estas estructuras se presentan principalmente en los valles de Aguascalientes y Calvillo, orientados en sentido nortesur y noreste-suroeste, respectivamente. En dirección paralela a las fallas principales que forman el graben de Aguascalientes, se presentan fallas secundarias acompañadas de un intenso fracturamiento, con el mismo sentido y en dirección perpendicular a la estructura fluidal de las riolitas.

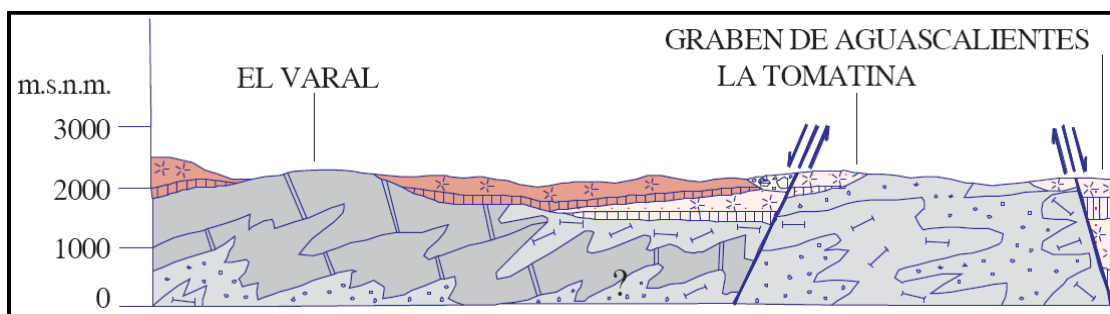
Los rasgos estructurales presentes en el acuífero se deben a la evolución del ambiente geotectónico que durante su desarrollo ha manifestado etapas orogénicas diferentes, espacial y temporalmente.

Las trazas de las fallas principales tienen un rumbo S 10° W y buzamiento de 9° a 15° formando algunas veces escarpes casi verticales, en la región del acuífero a 300 m de la presa Los Arquitos y al oriente de la misma región se ubica una falla de tipo normal que sigue paralela a la estructura anterior con rumbo N 10° E y buzamiento de 10° observándose el bloque caído hacia el oriente.

4.3 Geología del subsuelo

De acuerdo con la información geofísica obtenida del estudio realizado en el año de 1981, los cortes litológicos de pozos y las evidencias de campo, es posible definir que en el subsuelo se presentan conglomerados, areniscas, tobas arenosas, riolitas, ignimbritas y tobas ácidas; sobreyacidas por delgados espesores de depósitos aluviales y fluviales, así como de piedemonte hacia los flancos de las sierras que delimitan el acuífero. El acuífero se encuentra alojado, en su porción superior por sedimentos aluviales y fluviales producto de la erosión de las partes altas de las sierras, que han sido transportados por abanicos aluviales y por escurrimientos superficiales para ser depositados en los cauces de los arroyos y en los valles, así como areniscas y conglomerados. Su espesor es variable y sólo alcanza algunas decenas de metros en los cauces de los arroyos ubicados en los extremos suroccidental y nororiental. La parte inferior está conformada por rocas volcánicas (riolitas, ignimbritas y tobas ácidas) que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y alteración. Estas mismas rocas constituyen las barreras al flujo subterráneo y el basamento hidrogeológico, cuando desaparece su fracturamiento.

Los sondeos geofísicos realizados en 1981 en el valle, correlacionados con la información geológica de los cortes litológicos, permitió identificar la presencia de 6 unidades geoelectricas: las primeras 4 corresponden a depósitos aluviales conformados por arcillas, limos, arenas, gravillas, gravas, clásticos gruesos y boleas; cuya permeabilidad varía de baja a media. La unidad 5 se correlaciona con un conglomerado semicompacto de baja permeabilidad y subyaciendo a este se encuentra el basamento resistivo (unidad 6) que representa roca compacta, la cual, en los cortes litológicos, corresponde a una ignimbrita sana. Sin embargo, en algunos sitios del valle, se han detectado rocas riolíticas fracturadas y alteradas. En la figura 3 se muestra una sección geológica esquemática, ubicada al noreste de Aguascalientes, en la que se muestran rocas metasedimentarias (calizas y areniscas) así como metavolcánicas (andesitas) del Cretácico Inferior, sobreyacidas por riolitas e ignimbritas.



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

Figura 3. Sección Geológica Esquemática

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

De acuerdo con la información geológica y piezométrica, es posible identificar las unidades litológicas descritas conforman un acuífero de tipo libre, heterogéneo y anisotrópico; constituido en su porción superior por sedimentos aluviales, fluviales, conglomerados y areniscas; y en su porción inferior volcánicas fracturadas.

El medio granular poroso está conformado por los depósitos no consolidados y semi-consolidados que incluyen materiales clásticos de granulometría diversa, originados a partir del intemperismo y erosión de las diversas unidades geológicas que afloran en la sierra que delimitan el acuífero, estos materiales presentan permeabilidad media a baja y se ubican en la proximidad del cauce de los arroyos. A esta unidad pertenecen los conglomerados y areniscas. Subyaciendo a estos depósitos, se presentan riolitas, ignimbritas y tobas ácidas, que presentan fracturamiento. Su espesor conjunto

alcanza los 200 m. Estas últimas unidades constituyen en superficie las principales zonas de recarga.

5.2 Parámetros hidráulicos

En la superficie que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para determinar las características hidráulicas del acuífero. Sin embargo, por correlación hidrogeológica con los acuíferos vecinos Valle de Calvillo y Aguascalientes, con características litológicas y evolución geológica similar, es posible adoptar valores representativos de transmisividad. De esta manera, los valores promedio de transmisividad, adaptados a la geología y espesor saturado, pueden variar entre 0.06×10^{-3} a $1.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, con un valor promedio de $0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Asumiendo un valor de 150 para el espesor saturado, se obtiene un valor promedio de conductividad hidráulica de $1.3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. para el caso del coeficiente de almacenamiento, el estudio realizado en el año 1981 (Consultores, S.A.), reporta un valor de 0.05 para el Valle de Calvillo y valores de 0.1 a 0.16 para el Valle de Aguascalientes. Para el evaluar el cambio de almacenamiento se adoptó un valor de 0.11.

5.3 Piezometría

Para el análisis piezométrico del acuífero se cuenta con información recabada correspondiente al año 2010.

5.4 Comportamiento hidráulico

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La configuración de profundidad al nivel estático para el año 2010, mostrada en la figura 4, presenta valores que varían de 10 a 130 metros. Los valores más someros, de 10 a 20 m, se localizan en la porción suroccidental del acuífero en dirección hacia la presa Tapias Viejas, donde el arroyo Gil se encañona para seguir su curso hacia el acuífero vecino Valle de Calvillo. A partir de ellos, los valores se incrementan, por efecto de la topografía, en los valles localizados en los extremos suroccidental y nororiental del acuífero. Los valores más bajos se localizan en la porción central del acuífero, debido a la concentración del bombeo.

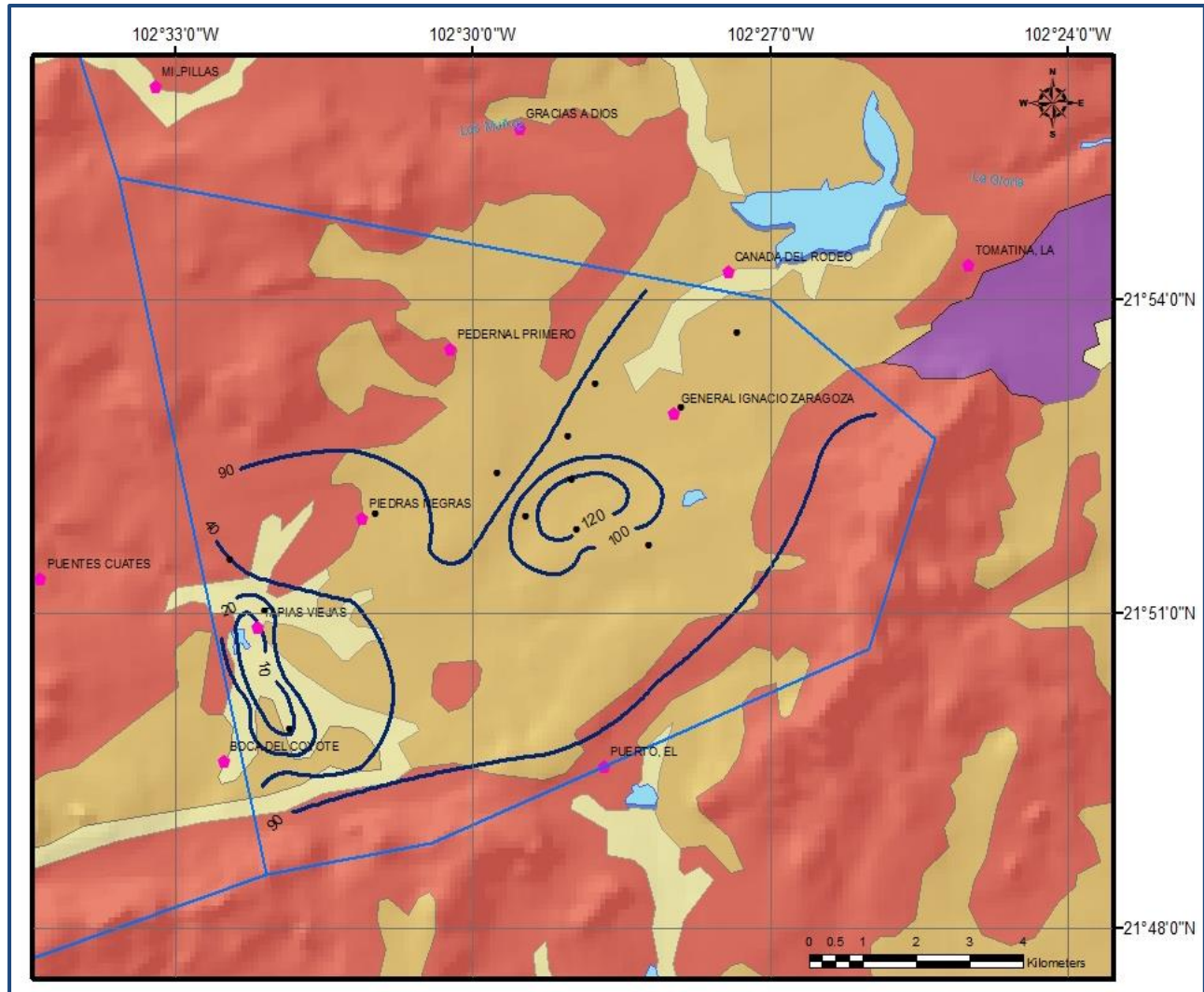


Figura 4. Profundidad al nivel estático en m (2010)

5.4.2 Elevación del nivel estático

Con respecto a la configuración de elevación del nivel estático del año 2010 los valores de elevación varían de 1910 a 1870 msnm, mostrando la misma distribución espacial que para el año 1997, el cono de abatimiento se extiende más, aunque sigue representado por la curva de elevación 1880 msnm. La dirección preferencial del flujo subterráneo muestra una trayectoria en sentido noreste-suroeste, con alimentaciones provenientes de los flancos montañosos (figura 5), para finalmente dirigirse hacia el cañón que forma el arroyo Gil, donde es posible que aflore en forma de lloraderos o pequeños manantiales, debido a que las riolitas tienden a fracturarse en forma de bloques. Parece ser que en condiciones naturales existía una salida hacia la presa Abelardo Rodríguez, ubicada al nororiente del acuífero, fuera de sus límites, en el acuífero vecino Valle de Aguascalientes. Sin embargo, actualmente no existen

evidencias de esto por lo que es posible que hayan sido interceptadas por el bombeo.

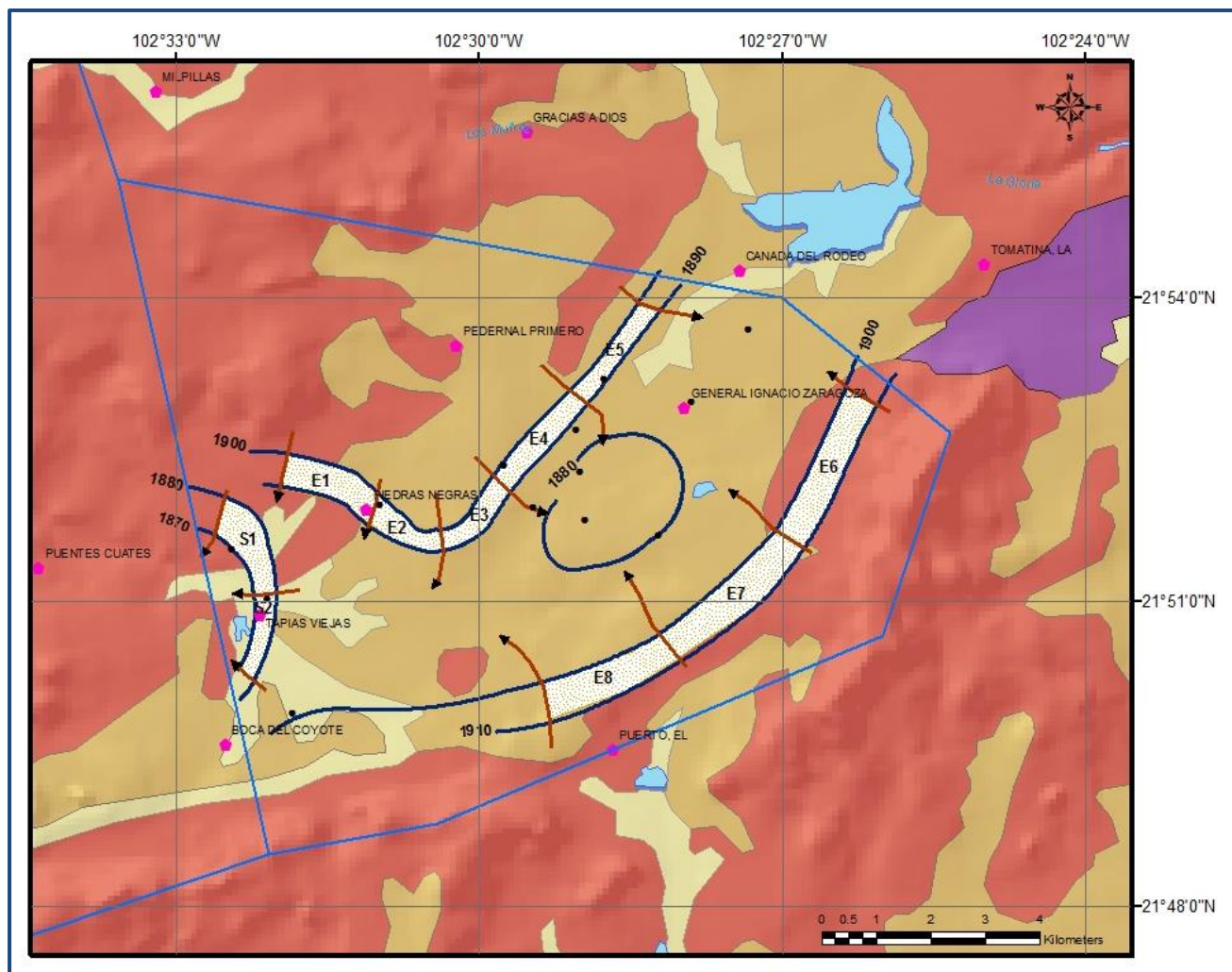


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2010)

5.4.3 Evolución del nivel estático

La configuración de la evolución del nivel estático para el periodo 1997-2010, mostrada en la figura 6, muestra abatimientos que varían de 1 a 10 metros. Como es evidente, los valores más altos se registran al centro del acuífero, donde se presenta el cono de abatimiento causado por la concentración del bombeo. El abatimiento promedio anual es de 0.3 m.

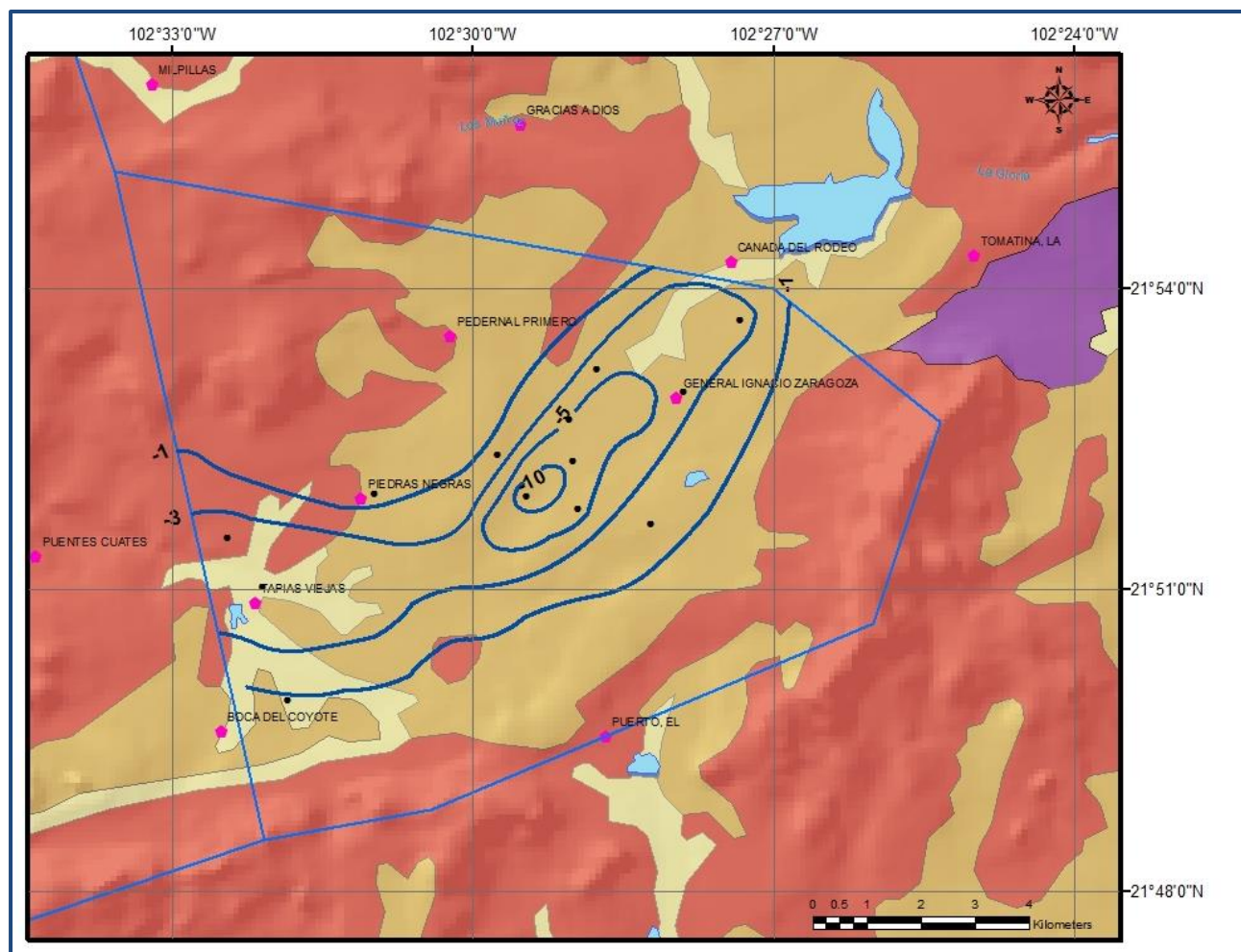


Figura 6. Evolución del nivel estático en m (1997-2010)

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

No existe información reciente de la calidad química del agua subterránea. De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en estudios anteriores, se determina que, en términos generales, la calidad del agua puede calificarse como buena, debido a que las concentraciones de Sólidos Totales Disueltos (STD) no rebasa las 1000 ppm que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 para el agua destinada al consumo humano. Con respecto a la familia del agua, predomina la bicarbonatada-cálcica y bicarbonatada-sódica que representan agua de reciente infiltración con tiempos muy cortos de residencia.

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De acuerdo con los resultados del censo realizado en el año 2009, en el acuífero existe un total de 18 aprovechamientos de aguas subterráneas, todos ellos pozos activos, de los cuales 4 se destinan al uso público-urbano para dotación de agua potable a las

comunidades de la región, 5 para uso agrícola, 7 más para usos múltiples y 1 para uso industrial y 1 más para uso doméstico.

El volumen de extracción total estimado asciende a **2.0 hm³ anuales**, de los cuales 0.92 hm³ (46.0%) se destina al uso agrícola, 0.71 hm³ (35.5%) para usos múltiples, 0.3 más (15.0%) para uso público-urbano. 0.05 hm³ (2.5%) para uso doméstico y los 0.02 hm³ anuales restantes (1.0%) para uso industrial.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de agua subterránea se planteó para el periodo 1997-2010, en una superficie de 39 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:

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

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 definido para el acuífero, las entradas están integradas por la recarga natural (Rv) que se produce por efecto de la infiltración de la lluvia que se precipita directamente sobre el valle y a lo largo de los escurrimientos, y la que proviene de zonas montañosas contiguas a través de una recarga por flujo horizontal subterráneo (Eh).

De manera inducida, la infiltración de los excedentes del riego agrícola y del agua residual de las descargas urbanas, constituyen otra fuente de recarga al acuífero. Estos volúmenes se integran en la componente de recarga inducida (Ri). Para este caso,

dado que no existen poblaciones urbanas importantes y el riego agrícola es incipiente, se considera que para fines del balance de aguas subterráneas no existe recarga inducida.

7.1.1 Recarga vertical (Rv)

En las regiones áridas y semiáridas los dos principales mecanismos de recarga natural se producen a través de la infiltración a lo largo de los cauces de los escurrimientos superficiales y la recarga de frente de montaña.

Este término es uno de los que mayor incertidumbre implica su cálculo. Debido a que se tiene información para calcular las entradas y salidas por flujo subterráneo, su valor será despejado de la ecuación de balance:

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

Donde:

- Rv:** Recarga Vertical
- Eh:** Entradas subterráneas por flujo horizontal
- B:** Bombeo
- Sh:** Salidas subterráneas por flujo horizontal
- Dm:** Descarga de manantial
- ETR:** Evapotranspiración real
- $\Delta V(S)$:** Cambio en el volumen almacenado

De esta manera, despejando la recarga vertical:

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

7.1.2 Entradas por flujo subterráneo horizontal (Eh)

La recarga del acuífero tiene su origen por la precipitación sobre las zonas topográficamente más altas del área y por la infiltración de los escurrimientos superficiales. El agua se infiltra a través de las rocas y a través del pie de monte, para posteriormente recargar al acuífero en forma de flujos subterráneos que alimentan las zonas de explotación.

El cálculo de entradas por flujo horizontal se realizó con base en la Ley de Darcy, a partir de la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5),

mediante la siguiente expresión:

$$Q = B * i * T$$

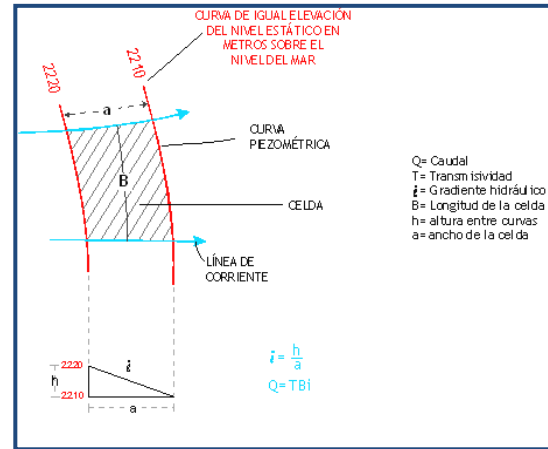
Donde:

Q = Caudal (m³/s)

B = Longitud de la celda (m)

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

T = Transmisividad (m²/s)



Con base en la configuración de elevación del nivel estático para el año 2010 (figura 5) se seleccionaron las celdas de entrada de flujo subterráneo de acuerdo a la geología. El caudal de entrada por flujo subterráneo horizontal calculado se muestra en la tabla 2, en la que se puede observar que el promedio es de **1.7 hm³ anuales**.

Tabla 2. Cálculo de entradas por flujo subterráneo (2010)

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	1750	690	10	0.0145	0.00015	0.0038	0.1
E2	1520	460	10	0.0217	0.00015	0.0050	0.2
E3	1520	380	10	0.0263	0.00015	0.0060	0.2
E4	2060	380	10	0.0263	0.00015	0.0081	0.3
E5	2060	380	10	0.0263	0.00015	0.0081	0.3
E6	2820	610	10	0.0164	0.00015	0.0069	0.2
E7	2970	610	10	0.0164	0.00015	0.0073	0.2
E8	2440	690	10	0.0145	0.00015	0.0053	0.2
TOTAL							1.7

Los valores de T utilizados para calcular entradas y salidas subterráneas se obtuvieron de los promedios obtenidos de la interpretación de pruebas de bombeo realizadas en estudios previos en el acuífero vecino Valle de Calvillo, adaptados al espesor saturado de la región donde se localizan las celdas.

7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por salidas horizontales (Sh) hacia el cañón que forma el arroyo Gil, hacia el acuífero vecino Valle de Calvillo, y de manera

artificial por bombeo (B). No existen descargas por evapotranspiración, flujo base, ni manantiales.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo asciende a **2.0 hm³ anuales**.

7.2.2 Salidas por flujo subterráneo horizontal (Sh)

Las salidas subterráneas fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir de las configuraciones de elevación del NE para el año 2010 mostrada en la figura 6. Las celdas de salidas se localizan hacia la presa Tapias Viejas y hacia el cañón del arroyo Gil, donde es posible que se manifiesten como “lloraderos” o pequeños manantiales, debido a la particular forma de fracturamiento en bloques que presentan las riolitas. Su valor promedio es de **1.0 hm³ anuales**, como se muestra en la tabla 3.

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

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	1000	460	10	0.0217	0.0003	0.0065	0.2
S2	1100	340	10	0.0294	0.0008	0.0259	0.8
TOTAL							1.0

7.2.3 Evapotranspiración

Debido a que los valores mínimos de profundidad al nivel estático son de 10 m y estos se registran de manera puntual en una superficie pequeña ubicada hacia donde se encañona el arroyo Gil, se considera que no existe evapotranspiración. Por lo tanto, **ETR = 0**

7.3 Cambio de almacenamiento (ΔVS)

Para la estimación del cambio de almacenamiento se tomó en cuenta la configuración de la evolución anual del nivel estático 1997 - 2010. Con base en ella y tomando en cuenta un valor promedio de rendimiento específico Sy de 0.11, se determinó la variación del almacenamiento mediante la siguiente expresión:

$$\Delta VS = S * A * h$$

Donde:

ΔVS: 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 para el periodo es de almacenamiento es de -6.7 hm³, por lo que el promedio anual es de **-1.1 hm³**.

Tabla 4. Cálculo del cambio de almacenamiento (1997 - 2010)

Evolución (m)	Abatimiento promedio (m)	Area (km ²)	S	ΔV(S) (hm ³ /a)
-10	-10.0	0.6	0.11	-0.7
-10 a -5	-7.5	3.7	0.11	-3.1
-5 a -3	-4.0	15.8	0.11	-7.0
-3 a -1	-2.0	18.9	0.11	-4.2
		39.0	Total	-14.8
			promedio anual	-1.1

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 que fue establecida con anterioridad:

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

Sustituyendo cada una de las componentes de la ecuación de balance evaluadas:

$$R_v = 2.0 + 1.0 + 0.0 - 1.1 - 1.7$$

$$R_v = 0.2 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

De esta manera, la recarga total media anual estará definida por la suma de la recarga vertical y las entradas horizontales subterráneas.

$$R = R_v + E_h$$

$$R = 1.9 \text{ hm}^3 \text{ anuales}$$

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **1.9 hm³/año**, todos ellos son de recarga natural.

8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para el caso del acuífero Venadero se considera que el valor de la descarga natural comprometida es de **0.9 hm³ anuales**, que corresponde a las salidas por flujo subterráneo que tienden a descargar hacia las presas Tapias Viejas y hacia cañón que labró el arroyo Gil, hacia el acuífero vecino Valle de Calvillo.

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 **1,596,850 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 **20 de febrero del 2020**.

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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 1.9 - 0.9 - 1.596850 \\ \text{DMA} &= -0.596850 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **596,850 m³ anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFÍA

Comisión Nacional del Agua, Dirección Local Aguascalientes 2010. Información Piezométrica.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1971. Estudio Hidrogeológico Completo de los Acuíferos en el Estado de Aguascalientes. Realizado por la empresa Ariel Construcciones, S.A.

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

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1987. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Aguascalientes.

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