



SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE CALVILLO (0105), 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	5
3. FISIOGRAFÍA.....	6
3.1 Provincias Fisiográficas.....	6
3.2 Clima	6
3.3 Hidrografía.....	7
3.4 Geomorfología.....	8
4. GEOLOGÍA	8
4.1 Estratigrafía	8
4.2 Geología Estructural.....	10
4.3 Geología del Subsuelo.....	10
5. HIDROGEOLOGÍA.....	11
5.1 Tipo de acuífero.....	11
5.2 Parámetros Hidráulicos	11
5.3 Piezometría.....	12
5.4 Comportamiento hidráulico	12
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea	12
6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA	13
7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	13
7.1 Entradas.....	13
7.1.1 Recarga natural	13
7.1.2 Recarga inducida	14
7.1.3 Flujo Horizontal.....	14
7.2 Salidas	14
7.2.1 Extracción por bombeo (B).....	15
7.2.2 Descargas naturales	15
7.2.3 Flujo Subterráneo.....	15
7.2.4 Evapotranspiración.....	15
7.3 Cambio de almacenamiento	15
8. DISPONIBILIDAD	15
8.1 Recarga total media anual (R)	16
8.2 Descarga natural comprometida (DNC)	16
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)	16
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	17
9. BIBLIOGRAFÍA	18

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 Calvillo se localiza en la porción surponiente del estado de Aguascalientes, ocupa una franja con orientación Noreste-Suroeste (Figura 1). La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Comprende parcialmente los municipios de Jesús María y San José de Gracia; y en su totalidad el municipio de Calvillo, en el estado de Aguascalientes; y una porción del municipio de Jalpa, en el estado de Zacatecas.

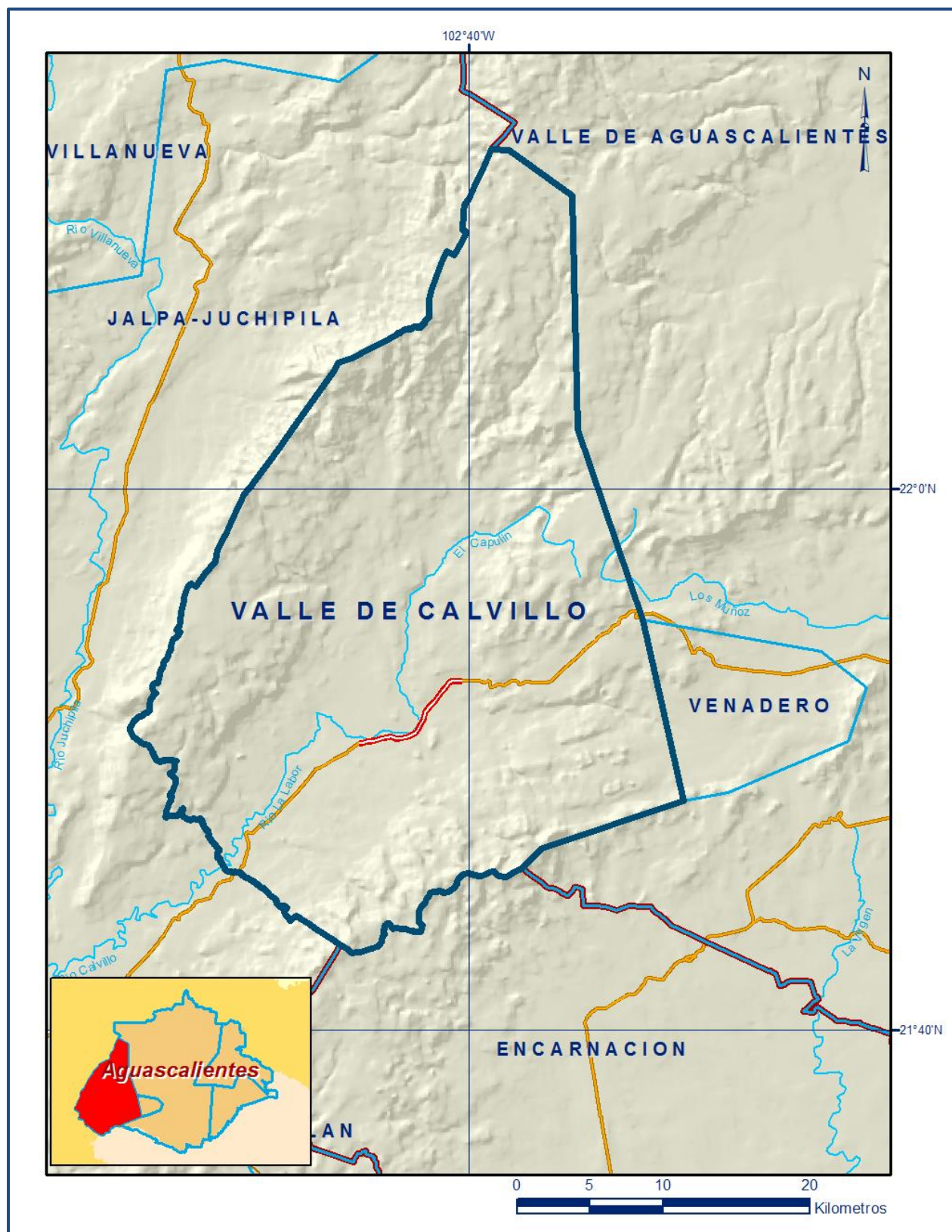


Figura 1. Localización del acuífero

1.2. Situación Administrativa del Acuífero

Debido a la sobreexplotación del acuífero, se estableció zona de veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de mayo de 1963. Conviene señalar que dicho Decreto clasifica la veda de conformidad con la fracción III del Artículo 11 del derogado Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956 en materia de Aguas del Subsuelo, que a la letra dice: "zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros".

Decretos de Reserva o Reglamento

A la fecha no se han establecido zonas de reserva ni existe una propuesta o proyecto de reglamentación del acuífero, debido a que se le ha otorgado prioridad al acuífero del Valle de Aguascalientes.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 01 05 VALLE DE CALVILLO						
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	102	39	8.9	22	12	31.9
2	102	38	30.0	22	12	30.0
3	102	36	10.0	22	10	50.0
4	102	35	58.0	22	2	12.0
5	102	33	35.0	21	55	10.0
6	102	32	5.0	21	48	30.0
7	102	37	16.1	21	46	45.2
8	102	38	1.4	21	45	59.1
1	102	39	8.9	22	12	31.9

Zonas de Disponibilidad

De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

Organización de Usuarios

En el acuífero del Valle de Calvillo, los usuarios ejidales extraen solamente el 6% del volumen total extraído, mientras que la pequeña propiedad bombea el 94%. Normalmente están constituidos en diferentes organizaciones o figuras legales como Sectores de Producción, Asociaciones de Producción, Sociedades de Producción, Unidades de Riego y Asociaciones de Usuarios, Sociedades Anónimas, Sociedades de Responsabilidad Limitada, Unión de Productores o Asociaciones Civiles. Todas las

organizaciones identificadas cumplen con los requisitos previstos en la Ley de Aguas Nacionales para otorgarles título de concesión. Actualmente no se tienen constituidos Comités Estatales de Usuarios de aguas subterráneas.

Distritos y Unidades de Riego

En el ámbito territorial del acuífero no se localiza ningún Distrito de Riego. Asimismo, aun cuando existen Unidades de Riego, éstas se tienen registradas en el REPDA con otras figuras organizativas como las mencionadas en el punto anterior que funcionan de manera similar a las Unidades de Riego.

Usuarios mayores de agua subterránea

En el uso agrícola que es el que mayor agua extrae del acuífero, los usuarios mayoritarios son pequeños propietarios, entre los que destacan los siguientes: Sociedad Bajío de Colomos y La Fortuna con un volumen concesionado de 907,200 m³/año, Asociación de Producción El Divisadero con 656,640 m³/año y S.P. San Isidro Las Parejas Pozo 1 y Pozo 2 con 600,000 m³/año. No obstante, es el municipio de Calvillo el mayor usuario del acuífero con más de 6.0 Mm³/año para uso público-urbano.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Desde 1971 a la fecha se han realizado varios estudios en el Estado de Aguascalientes, de los que destacan, el elaborado en 1971 por Ariel Construcciones, S.A., "Estudio Hidrogeológico completo de los Acuíferos en el Estado de Aguascalientes"; por Consultores en 1980, "Estudio Geohidrológico en los Valles de Aguascalientes, Chicalote, Calvillo y Venadero"; la Sinopsis Geohidrológica de 1987, que es resultado de la integración de estudios anteriores.

En 1994 en la Universidad de Chapingo se elaboró una tesis titulada "Estudio de Actualización del Balance Geohidrológico del Valle de Calvillo", del cual es importante consignar los aspectos geológicos del acuífero. Sin embargo, para fines de cálculo de la disponibilidad, se tomaron los resultados presentados en la Sinopsis Geohidrológica por considerar que son más precisos.

Cabe señalar que, el hecho de considerar la importancia del acuífero del Valle de Aguascalientes, le restó importancia al acuífero del Valle de Calvillo, considerándose que los estudios realizados son todavía insuficientes para conocer adecuadamente el funcionamiento del acuífero.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 Provincias Fisiográficas

El valle queda comprendido en los macizos montañosos de la Sierra Madre Occidental.

SIERRA MADRE OCCIDENTAL. Este sistema inicia en la frontera con los Estados Unidos, tiene dirección NW-SE, limitada al sur con la provincia del Eje Neovolcánico, al oeste con las provincias del Desierto Sonorense y Llanura Costera del Pacífico y al este con la provincia de Sierras y Bolsones y la extensión occidental de la Mesa Central y Sierra Madre Oriental.

Hacia el oriente, la Sierra Madre Occidental está constituida por valles y sierras alargadas de orientación NW-SE y NE-SW. Esta provincia dentro del estado de Aguascalientes está representada por la subprovincia de Sierras y Valles Zacatecanos, la cual se localiza al oeste abarcando cerca de 2,635 km² del Estado y comprendiendo los municipios de Calvillo y San José de Gracia, y parte de los de Aguascalientes, Cosío, Jesús María, Pabellón de Arteaga y Rincón de Romos. Se caracteriza por sus sierras altas, alargadas en sentido norte-sur y frecuentemente rematadas por mesetas, que se alternan con valles también alargados en ese sentido y cuyos pisos son a veces de pendiente suave, pero con mayor frecuencia presentan terrazas y lomeríos, que son 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.

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 se hallan 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

El clima en el valle es del tipo Bsl hw(w) (e), según la clasificación de Köppen, seco estepario, semicálido con invierno fresco y con lluvias en verano. La precipitación fluctúa entre 500 y 600 mm con un promedio anual de 615 mm, concentrada principalmente en los meses de junio a septiembre. La máxima incidencia de lluvia se presenta en el mes de Julio con un rango entre 110 y 120 mm, y la mínima ocurre en el

mes de febrero con un valor de 5 mm. En ocasiones las lluvias de los meses de Julio y agosto se presentan en forma de granizadas con un promedio de 6 días /año.

La temperatura media anual oscila entre 18 y 22° C con una media de 18° C. La temperatura máxima se registra en el mes de junio con valores de 25 y 26° C, mientras que la mínima se presenta en el mes de enero en un rango que varía entre 16 y 17° C. En esta zona son frecuentes las heladas en Invierno (noviembre a febrero), presentándose en promedio 23 días con riesgo de heladas.

La evaporación potencial media anual estimada para la zona asciende a 2,200 mm.

3.3 Hidrografía

El acuífero forma parte de la cuenca del río Calvillo que lo cruza en dirección Noreste-Suroeste, recibe por su margen izquierda las aguas de los ríos El Taray y Gil, y por su margen derecha, la del arroyo Peña Blanca; fuera del estado confluye al río Juchipila, afluente del Río Grande de Santiago.

De acuerdo a la regionalización que estableció la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el año de 1975, el acuífero se localiza, en su totalidad, en la Región Hidrológica No. 12, Lerma-Chapala-Santiago, en la subregión Alto Santiago, en la cuenca del Río Juchipila, específicamente en la subcuenca del Río Calvillo.

En la actualidad el Río Calvillo, que cruza el Valle de Noreste a Suroeste, no presenta flujo base. El abatimiento total del gasto base es causado por el establecimiento de obras de almacenamiento y por la sobreexplotación del acuífero, por lo que se ha invertido el gradiente hidráulico, y sólo en época de lluvias presenta escurrimiento.

Existen en la unidad geohidrológica del Valle de Calvillo varias obras de almacenamiento entre las que destacan las presas La Codorniz, sobre el río La Labor, con capacidad de 5.4 hm³; Malpaso sobre el río Gil o Texas con capacidad de 6.1 hm³; Peña Blanca sobre el río Tepozán con capacidad de 4.5 hm³; Ordeña Vieja sobre el arroyo Mezquitillos con una capacidad de 4.0 hm³; y Media Luna sobre el río Calvillo con una capacidad de 15.0 hm³, el resto de los almacenamientos tienen capacidades por debajo de 1,000,000 m³.

3.4 Geomorfología

Morfológicamente el área del acuífero presenta dos características principales: la primera corresponde a la continuación hacia el sur de la Sierra Fría, con elevaciones hasta de 2,400 msnm, caracterizada por una topografía abrupta formando en algunos lugares profundas barrancas y cañadas; la segunda corresponde a la planicie del río Calvillo con una elevación promedio de 1,700 msnm, formada por pequeños lomeríos de poca altura en lo que fue una cuenca lacustre. En las sierras periféricas del Valle es donde se han identificado importantes fuentes de recarga del acuífero.

4. GEOLOGÍA

4.1 Estratigrafía

Terciario. - Cubriendo discordantemente a posibles sedimentos marinos del Cretácico, existen una serie de rocas volcánicas y volcanoclásticas, representadas por derrames lávicos de composición Andesítica de poca extensión geográfica y Tobas arenosas blancas, por último, se presenta un complejo ígneo extrusivo de composición Riolítica, siendo ésta la unidad volcánica que predomina en la región, habiéndosele denominado Formación Asientos. Su espesor varía de 80 a 200 m como máximo, a continuación, se describen detalladamente cada una de estas unidades.

Andesita (T And).- Esta roca presenta poco afloramiento, localizados en el área poniente tanto en la zona de la presa La Codorniz, como al oriente de la Ciudad de Calvillo. Consiste en una Andesita vesicular en parte Amigdaloides, la cual se presenta en ocasiones clorizada y oxidada, dándole un color rojizo verdoso, se encuentra de masiva a lajeada. El espesor se desconoce por no aflorar su base.

Toba Blanca Arenosa y Brechas Volcánicas (Ta).- Con este nombre se le ha denominado a un paquete que se encuentra subyaciendo discordantemente a la Formación Asientos, constituido por tobas arenosas blancas y brechas volcánicas rojizas, presentando un espesor del orden de los 100 m, desconociéndose su espesor total por no aflorar su base.

Complejo Igneo Extrusivo Riolítico (Formación Asientos) (Tia).- Aflora desde San Luis Potosí hasta Zacatecas, en la zona del acuífero de Calvillo cubre discordantemente a las Tobas arenosas y a las Andesitas, su característica principal es la estructura fluidal que presenta, así como su textura Porfirítica; es masiva, de compacta a muy compacta y su espesor varía de 80 hasta 200 m. En algunos lugares da origen a mesetas características de esta Formación, además de su erosión en

bloque, lo cual da origen a verdaderos acantilados. Se le ha asignado tentativamente una edad del Terciario Medio.

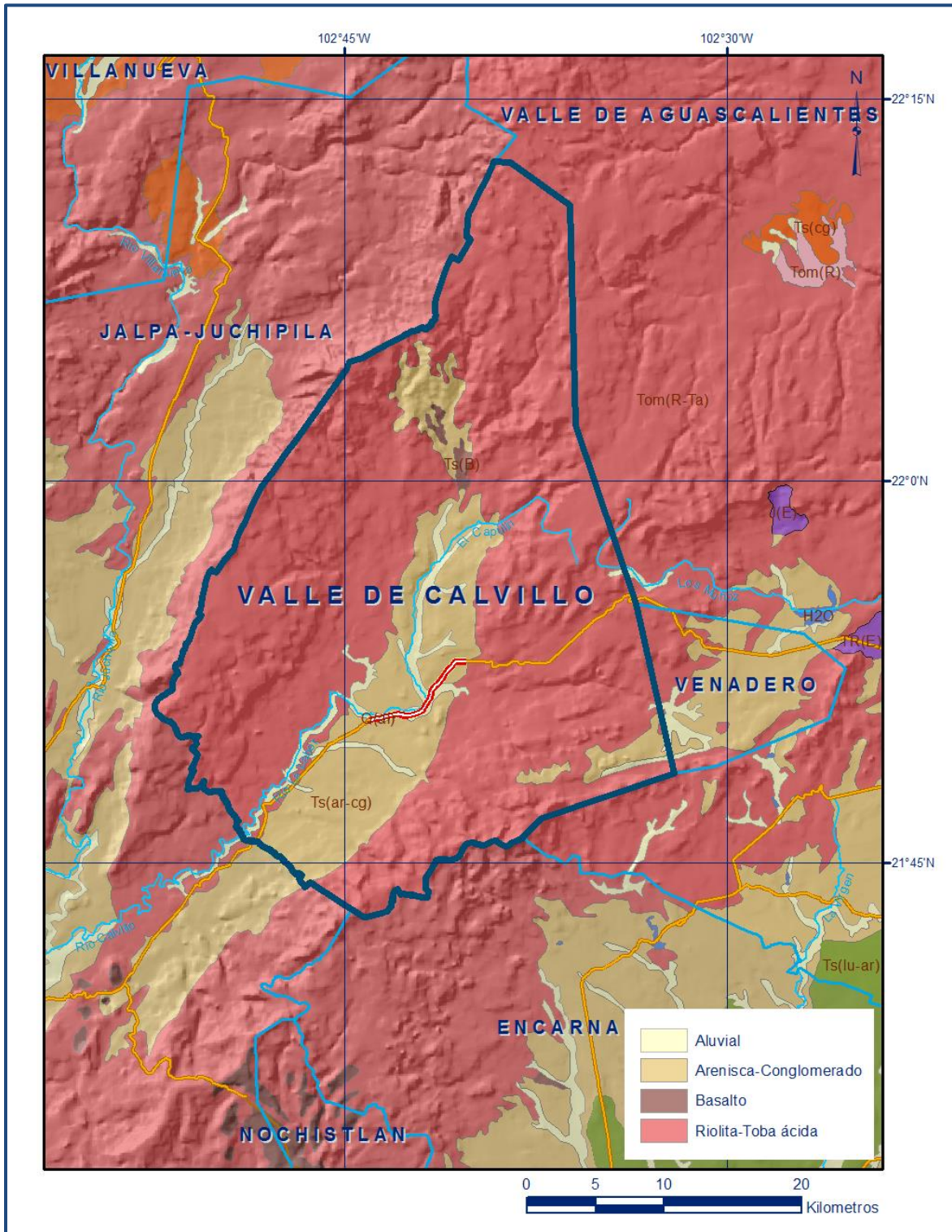


Figura 2. Geología general del acuífero

Sedimentos Continentales (Tc).- Con este nombre se ha denominado al material semicompacto que se encuentra rellenando los Grabens existentes en la zona, como el de Aguascalientes. Consiste principalmente de capas gruesas semiconsolidadas de arena con grava y limo-arcilloso, considerándose que su espesor es del orden de los 300 m. La edad que se le ha asignado tentativamente es del Plioceno.

Depósitos de Pie de Monte.- Se encuentran en las depresiones o al pie de las partes más altas de la sierra, y consisten en depósitos recientes producto de la descomposición de la roca preexistente emitidas en la edad del Terciario, de composición general ácida arcillosa y de permeabilidad media.

Cuaternario (Qre, Qal, Qpi).- Con este nombre se ha denominado a todo el material del Reciente que cubre discordantemente a las rocas descritas, abarcando Pie de Monte, Aluvión y Sedimentos Residuales

4.2 Geología Estructural

La geología estructural que permanece en la zona es el resultado del Diastrofismo provocado tanto por la Revolución Larámide que plegó y afalló a los Sedimentos Marinos, como por los asentamientos Postalaramídicos que se suscitaron durante las épocas geológicas en esta región.

La principal estructura de tomarse en consideración es el Graben de Calvillo, que consiste en una pequeña fosa tectónica rellena de sedimentos continentales, presenta un rumbo general noreste-suroeste, limitada por fallas de gravedad escalonadas. Sus dimensiones son 30 km de largo y 4 km de ancho. Esta es la estructura más favorable desde el punto de vista geohidrológico, ya que es el patrón que gobierna el agua subterránea en la zona.

4.3 Geología del Subsuelo

El valle de Calvillo es una depresión debida a la erosión de las rocas volcánicas superiores, las cuales dejaron descubiertas areniscas tobáceas, principal unidad productora, que funcionan como acuífero libre, y a través de las cuales se comunica con el Valle de Jalpa en el estado de Zacatecas. Los flancos están compuestos por tobas arenosas con menor permeabilidad. Las rocas aflorantes más antiguas son las sedimentarias marinas del Cretácico superior, cubriendo estas formaciones se presenta una serie de rocas volcánicas y volcanoclásticas representadas por derrames

andesíticos, tobas arenosas blancas y algunas brechas volcánicas, así como por una unidad andesítica de composición riolítica

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 Tipo de acuífero

El Acuífero funciona como libre; el esquema de flujo subterráneo original debe haber sido sensiblemente paralelo al río Calvillo, es decir con una dirección predominantemente Noreste-Suroeste, recibiendo alimentaciones en todo su perímetro, excepto en el suroccidente del Valle, que es el sitio de descarga natural. Actualmente la dirección del flujo sigue siendo de NE a SW, aunque por la sobreexplotación se observa una inversión del flujo al sur de la ciudad de Calvillo.

5.2 Parámetros Hidráulicos

Las escasas pruebas de bombeo realizadas en estudios realizados revelan algunos parámetros hidráulicos importantes que permiten conocer mejor el funcionamiento hidráulico del acuífero. Se ha observado que los valores de transmisividad aumentan en dirección a la Cd. de Calvillo y estos valores varían de 0.065×10^{-3} a 1.9×10^{-3} m²/s. En 1971, Ariel estimó un valor promedio de 0.3×10^{-3} , y Consultores en 1981, estimó un valor de 0.65×10^{-3} m²/s. Algunos de esos estudios, infieren diversos valores del coeficiente de almacenamiento para el acuífero en estudio que varía alrededor de 0.049.

Considerando un valor de la transmisividad de 0.3×10^{-3} , y un espesor del acuífero de 250 m, se estimó un valor de conductividad hidráulica de 1.2×10^{-6} m/s.

A partir de estudios realizados para la CNA mediante contrato se recuperaron los valores de transmisividad.

No. de pozo	Transmisividad en etapa de abatimiento (10^{-3} m ² /s)	Transmisividad en etapa de recuperación ($\times 10^{-3}$ m ² /s)	Fuente de información	Fecha
64-7	1.9		ARIEL	1969
64-1	0.47		ARIEL	11/12/71
64-10	0.55		ARIEL	13/12/71
73-2	0.19		ARIEL	13/12/71
65-27	0.065		ARIEL	11/11/71
14-B	NO INTERPRETABLE	NO INTERPRETABLE	CONSULTORES	22/11/80
24	NO INTERPRETABLE	NO INTERPRETABLE	CONSULTORES	19/11/80
65	0.66	0.76	CONSULTORES	18/11/80
82	0.567	0.651	CONSULTORES	21/11/80

5.3 Piezometría

Con la observación sistemática de los niveles de agua subterránea, iniciada en 1971, mediante pozos que han venido creciendo en número (actualmente 59 en el Valle), se ha obtenido un registro de casi 30 años, el cual revela los efectos de la explotación del acuífero, y proporciona información para cuantificar la recarga y los cambios de almacenamiento. Las mediciones se realizan tanto en temporada de estiaje como en época de lluvias, en algunos casos incluso se llegan a realizar hasta cuatro recorridos por año.

5.4 Comportamiento hidráulico

Las profundidades del Nivel Estático son muy variadas, un análisis realizado con valores de 1972 a 1997, revela que el abatimiento medio anual en el Valle es de 2.0 m, con máximos de hasta 4.0 m en las inmediaciones de las zonas agrícolas localizadas al sur de la ciudad de Calvillo.

La profundidad de los niveles estáticos varía de 50 m en las partes laterales del Valle hasta 130 m en el centro del mismo, en una pequeña zona localizada hacia el sur de la Ciudad de Calvillo.

Respecto a los niveles dinámicos, estos varían dependiendo del caudal extraído, del tiempo de operación de los pozos y de las características hidrodinámicas locales del acuífero en el área de influencia del bombeo. Con los caudales comunes de explotación, de 2 a 50 lps, los abatimientos registrados en el nivel dinámico, fluctúan entre 10 y 40 m, pero en términos generales, se ha observado que los niveles de bombeo presentan profundidades mayores a los 140 m en las zonas de concentración de pozos agrícolas.

5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

En términos generales, la calidad de las aguas subterráneas puede calificarse como buena, ya que la mayoría de las muestras analizadas quedan comprendidas dentro de la norma establecida para agua potable, con excepción del ion bicarbonato que en ocasiones sobrepasa dicha norma. Las aguas son del tipo bicarbonatadas sódica. Se clasifica dentro de la Clase I de Chase-Palmer, lo cual señala que el agua subterránea ha estado suficiente tiempo en el subsuelo, como para permitir que los elementos ácidos del agua de lluvia reaccionen con las sales solubles de las formaciones geológicas. Las aguas con mayor temperatura se localizan conforme se avanza de E a W a lo largo del Valle

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

Durante 1993 se realizó un operativo de verificación física-legal-administrativa de los aprovechamientos de aguas subterráneas. Correspondió a la entonces brigada de protección y seguridad hidráulica realizar recorridos por todo el estado con apoyo de personal de otras Gerencias Estatales. Los resultados obtenidos, y que se han venido modificando conforme se cuenta con mayor información, son los siguientes: existen en el Valle de Calvillo un total de 218 aprovechamientos, de los cuales 40 corresponden al uso público-urbano, 173 al uso agrícola, y el resto se clasifica como de uso múltiple e incluye pecuario y doméstico.

La extracción total asciende a **40 hm³/año**, de los cuales el 82.5% se extrae para uso agrícola, el 16% para uso público-urbano y el resto para usos múltiples.

Cabe señalar que, en dicha verificación, no se realizó hidrometría y solamente se obtuvo la información correspondiente a algunas características de los pozos y su situación administrativa. Sin embargo, gracias a que existe un control estricto sobre los aprovechamientos de uso público-urbano, se cuenta con suficientes mecanismos de medición que permiten obtener el volumen extraído por este uso, no así en el uso agrícola, en donde la extracción se estimó mediante la superficie regada y las láminas de uso consuntivo, utilizando valores medios proporcionados por el Distrito de Riego 01 Pabellón.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

7.1 Entradas

El volumen total que entra al acuífero del Valle de Calvillo, se ha estimado en 25 hm³ anuales y el cual tiene varias componentes que se describen a continuación.

7.1.1 Recarga natural

De conformidad con la Sinopsis Geohidrológica del Estado de Aguascalientes, la precipitación pluvial que se infiltran en sierras y lomeríos, los escurrimientos superficiales que alimentan al subsuelo por infiltración a lo largo de cauces y en los pie de montes, son las fuentes de recarga natural que alimentan al Acuífero del Valle de Calvillo, con magnitud que fluctúa de un ciclo anual a otro o dentro del impredecible lapso que media entre la escasez y la abundancia, en función de la variabilidad de las lluvias. El valor estimado de recarga natural es de aproximadamente **20 hm³ anuales**.

7.1.2 Recarga inducida

En el transcurso de las cinco últimas décadas, los regímenes de recarga de aguas subterráneas se han visto severamente afectados por causa de la creciente influencia de las obras realizadas por el hombre, que con la construcción de presas y gran número de bordos ha alterado el escurrimiento natural de las aguas superficiales, disminuyendo la infiltración a lo largo de los cauces, aunque en compensación las pérdidas por conducción y los excedentes de riego han generado nuevas fuentes de recarga, particularmente en las áreas de riego, cuyas aportaciones al subsuelo se han venido reduciendo paulatinamente en función de la tecnificación de los sistemas de riego, pero de cualquier manera, los excedentes de riego en las zonas agrícolas siguen siendo alimentadores importantes del acuífero.

La Sinopsis Geohidrológica reporta un valor de **5 hm³/año** de recarga inducida por excedentes de riego.

7.1.3 Flujo Horizontal

Debido a su posición geográfica, el acuífero del Valle de Calvillo no recibe aportaciones por flujo horizontal de otros acuíferos.

7.2 Salidas

En condiciones naturales la descarga del acuífero tenía lugar por evaporación de la vegetación freatofita que abundaba en las porciones bajas de la cuenca o por afloramiento natural de sus aguas que alimentaban los escurrimientos superficiales, entre los cuales, el dren principal de las aguas subterráneas fue el río Calvillo.

Estas condiciones permanecieron casi inalteradas hasta principio de la década de los años cuarenta, cuando inició en mayor escala la explotación de las fuentes del subsuelo, que más adelante se intensificó y abatió los niveles del agua, con la consiguiente disminución y posterior agotamiento de las descargas naturales, por lo que desde hace ya mucho tiempo, el caudal base de los ríos es nulo, y como la evapotranspiración ha sido también reducida por causa de la eliminación indirecta de la vegetación, puede afirmarse que en la actualidad la descarga del acuífero corresponde a la que artificialmente se realiza a través de pozos y norias y el flujo subterráneo hacia el acuífero de Jalpa, estado de Zacatecas.

7.2.1 Extracción por bombeo (B)

De acuerdo con estimaciones realizadas en la Sinopsis Geohidrológica, la extracción en el acuífero alcanza un volumen de **31 hm³** por año.

7.2.2 Descargas naturales

Actualmente y debido a la sobreexplotación, se ha invertido el comportamiento del acuífero y las salidas naturales que antaño se daban mediante manantiales y en los cauces, han desaparecido en su totalidad.

7.2.3 Flujo Subterráneo

La emigración subterránea hacia el acuífero de Jalpa en el estado de Zacatecas consignada en la Sinopsis Geohidrológica se estima en **2 hm³/año**, valor que es considerado en este documento.

7.2.4 Evapotranspiración

Este parámetro es considerado nulo debido a las causas expuestas en el párrafo anterior.

7.3 Cambio de almacenamiento

Una evaluación de la variación del almacenamiento resultado de la Sinopsis Geohidrológica indica que en el período de 1971 a 1986 el cambio de almacenamiento fue de **-8 hm³/año**, que representa el déficit anual del acuífero.

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:

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

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 **25.0 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 acuífero Valle de Calvillo la descarga natural comprometida es igual a **2.0 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 **40,909,700 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 25.0 - 2.0 - 40.909700 \\ \text{DMA} &= -17.909700 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **17,909,700 m³** anuales que se está extrayendo acosta del almacenamiento no renovable del acuífero.

9. BIBLIOGRAFÍA

Estudio Hidrogeológico completo de los Acuíferos en el Estado de Aguascalientes. Ariel Construcciones, S.A. 1971.

Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos del Estado de Aguascalientes. Servicios Geológicos, S.A. 1975.

Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en el Estado de Aguascalientes. Consultec, Ingenieros Asociados, S.A. 1977.

Estudio Geofísico en diversas zonas del Estado de Aguascalientes. Investigaciones Técnicas del Subsuelo, S.A. 1979.

Estudio Geohidrológico en los Valles de Aguascalientes, Chicalote, Calvillo, en el Estado de Aguascalientes. Consultores, S. A. 1980.

Estudio Fotogeológico en la Zona de Rincón de Romos y Calvillo, en el Estado de Aguascalientes. FOTO IN, S. A. 1981.

Actividades de Carácter Geohidrológico en las Zonas de Calvillo, Venadero en el Valle de Aguascalientes. Consultores, S. A. 1981.