



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN EL ACUÍFERO  
VALLE DE QUERÉTARO (2201), ESTADO DE QUERÉTARO**

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2020

## CONTENIDO

<b>1. GENERALIDADES .....</b>	<b>2</b>
Antecedentes .....	2
1.1 Localización .....	2
1.2 Situación Administrativa del Acuífero .....	4
<b>2. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Provincia Fisiográfica.....	4
2.2 Clima.....	5
2.3 Hidrografía .....	6
<b>3. GEOLOGIA.....</b>	<b>6</b>
3.1 Estratigrafía .....	6
<b>4. HIDROGEOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
4.1 Geofísica .....	15
4.2 Geoquímica .....	15
4.3 Piezometría .....	17
<b>5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS .....</b>	<b>18</b>
<b>6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA .....</b>	<b>19</b>
6.2 Ecuación de balance.....	19
<b>7. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA .....</b>	<b>23</b>
7.1 Recarga total media anual (R) .....	23
7.2 Descarga natural comprometida (DNC) .....	23
7.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	24
7.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	24
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>25</b>

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

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

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

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

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

### **1.1 Localización**

El acuífero Valle de Querétaro tiene una extensión de 484-km<sup>2</sup>, se ubica en la porción suroccidental del estado, abarca parte de los municipios de Querétaro, Corregidora y El Marques. En él tiene asiento la ciudad capital del estado y donde se concentra la mayor parte de la población estatal (Figura 1).

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

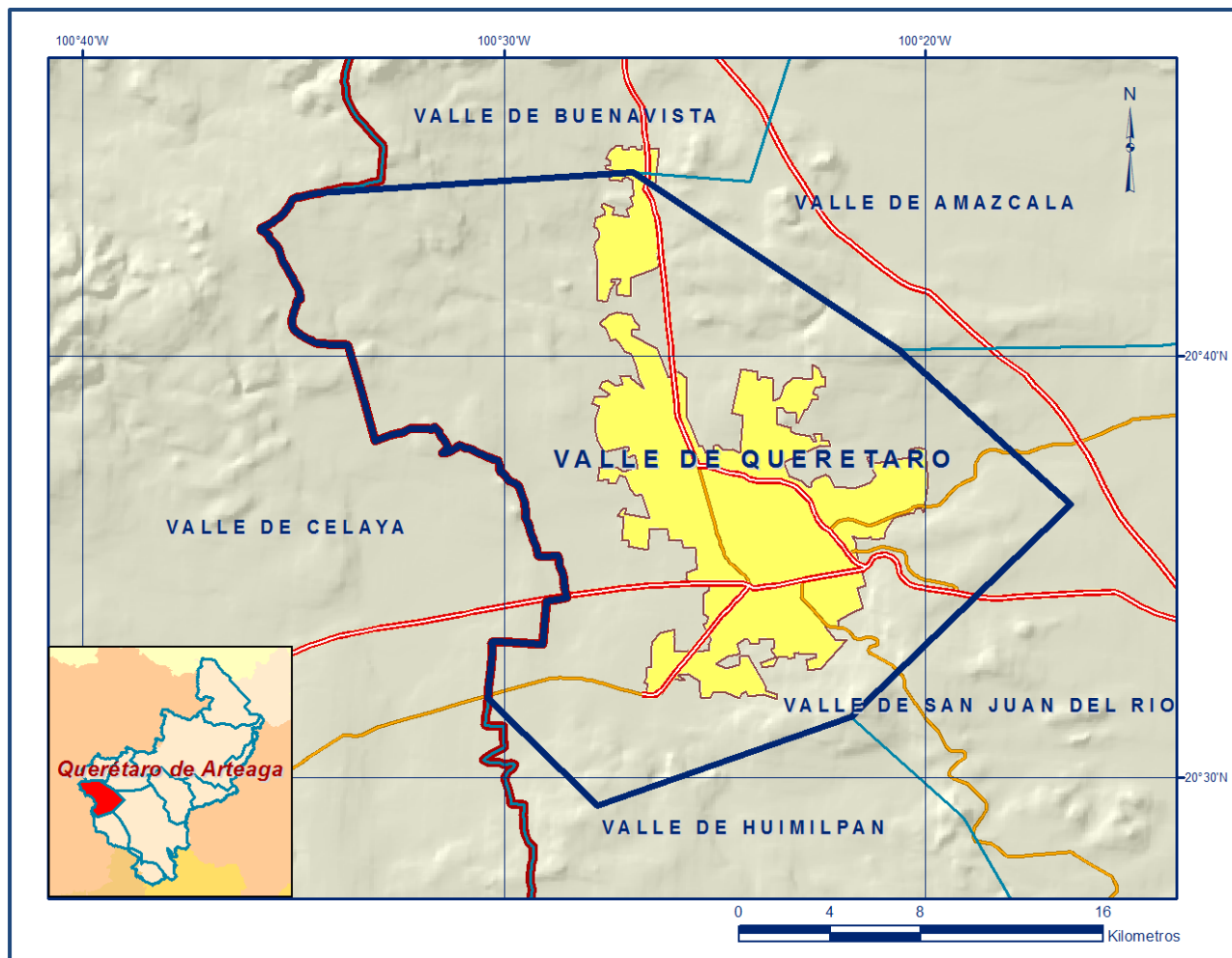


Figura 1. Localización del acuífero

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE		
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
1	100	16	35.0	20	36	30.0
2	100	21	45.0	20	31	27.0
3	100	27	45.0	20	29	20.0
4	100	30	23.0	20	31	52.4
5	100	34	23.6	20	43	51.2
6	100	26	55.0	20	44	20.0
7	100	20	38.0	20	40	8.0
1	100	16	35.0	20	36	30.0

## **Municipios**

El acuífero Valle de Querétaro cubre parcialmente los municipios de Querétaro, Corregidora y una pequeña parte de El Marqués. Dentro de las principales poblaciones se encuentra la ciudad de Querétaro capital, donde se asienta el 62% del total de la población del estado, así como la cabecera municipal del municipio de Corregidora.

## **Población**

La población ubicada dentro de la zona de estudio entre los años de 1950-1995 tuvo una tasa de crecimiento de 4.24 %, a lo largo del periodo de referencia, la zona incrementó su participación relativa en el total de la población estatal, de 36.5% en 1950 a 54.4% en 1995, la mayoría de la población residió en el municipio de Querétaro, en donde se ubica la capital del estado.

### **1.2 Situación Administrativa del Acuífero**

Actualmente se tienen vedas para el aprovechamiento de agua del subsuelo desde el año de 1949 mediante Decreto oficial publicado en el Diario Oficial de la Federación: de fecha 13 de noviembre de 1957, 17 de marzo de 1964, 24 de septiembre de 1964 y 30 de diciembre de 1957 que señalan que por causa de interés público y para protección de los mantos acuíferos se establece veda por tiempo indefinido, dentro de los municipios de Querétaro, Corregidora y El Marques.

Respecto a los decretos de reserva o reglamento no existe antecedente de alguna publicación en el Diario Oficial de la Federación, existiendo únicamente a nivel de propuesta y mediante el Comité Técnico de Agua Subterránea (COTAS) del acuífero Valle de Querétaro. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2015, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 1.

## **2. FISIOGRAFÍA**

### **2.1 Provincia Fisiográfica**

El acuífero Valle de Querétaro se emplaza dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico según clasificación de E: Raíz 1964 en su porción septentrional; el valle de Querétaro es el producto de una serie de acontecimientos naturales que tuvo lugar desde fines del Cretácico hasta principios del Terciario, entre los que destaca la Revolución Laramide, que originó la dislocación y plegamiento de las rocas sedimentarias marinas, dando lugar a la formación de sierras y fallas. Posteriormente, nuevas fracturas y fallas originaron pilares y fosas tectónicas asociadas con la actividad volcánica, al mismo tiempo que se rellenaban con clásticos y derrames lávicos que ocupan el valle de Querétaro.

## **Formas de relieve**

El área de estudio se puede dividir en dos zonas morfológicamente:

- Zona de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo abarca toda la zona de estudio y se puede subdividir en:
- Zonas de Llanuras. Comprende los valles de Querétaro y San Juan del Río.
- Zona de Sierras. Son de forma alargada en dirección norte-sur desde Santa Rosa Jauregui hasta el poblado de Huimilpan constituyendo sierras de laderas tendidas en lomeríos.

Una pequeña parte, al noroeste de Huimilpan, corresponde a la subprovincia de Mil Cumbres, compuesta por sierras de laderas abruptas, esta zona queda fuera del área de estudio.

El valle de Querétaro corresponde a un extenso valle de forma alargada en dirección norte sur, relleno de sedimentos aluviales, flujos de lava y depósitos vulcanoclásticos lacustres de unos 100 m de espesor para cada uno, según el área.

Este valle es el resultado del hundimiento producido por un sistema de fallamientos escalonados por esfuerzos distensivos dirigidos hacia el poniente y al oriente respectivamente, con fallas ordenadas casi simétricamente y notoriamente equidistantes con orientación noroeste-sureste. Al mismo tiempo, se origina otra serie de eventos con fallamientos transcurrentes secundarios con orientación noreste suroeste formando un tren estructural transversal al graben de Querétaro, como un proceso extensivo.

## **2.2 Clima**

El clima de acuerdo con los criterios de Koppen modificados por Enriqueta García, se clasifica en general como semiseco, semicálido, con lluvia en verano y con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5, la precipitación media anual en el valle es del orden 550 mm datos de la estación climatológica de Querétaro, para el período de 1921 a 1996; la temperatura media anual es del orden de 17° C.

La evaporación potencial media anual en el valle es del orden de 2,050 a 2,200 mm, valores que sobrepasan por mucho a la precipitación pluvial, razón por lo que se considera al clima como semiseco.

## **2.3 Hidrografía**

El valle de Querétaro pertenece a la Región Hidrológica N° 12 Cuenca del Río Lerma. La corriente superficial más importante es el río Querétaro y su afluente principal el río El Pueblito. El río Querétaro nace en la porción centro occidental del estado, adopta un rumbo NE-SW que modifica a E-W al entrar al valle que nos ocupa, atraviesa la ciudad de Querétaro y cambia nombre por el Arroyo Magdalena, que sensiblemente sigue su curso con el mismo rumbo hasta Las Adjuntas, sitio donde recibe las aportaciones del río El Pueblito, antes de cruzar el límite estatal hacia Guanajuato, para finalmente aportar al río La Laja.

En la sierra del sur se generan los escurrimientos del río El Pueblito, que con dirección norte-sur llega y cruza el poblado de Villa Corregidora, donde tuerce al NW y atraviesa la llanura hasta Las Adjuntas, donde se une con el río Querétaro.

En la porción norte del área en estudio es de mencionar el arroyo San Isidro, que corre con dirección general poniente a oriente y cruza la población de Santa Rosa Jauregui, así como el arroyo Jurica que se desarrolla con una dirección semejante.

## **3. GEOLOGIA**

### **3.1 Estratigrafía**

Se identificaron quince unidades litológicas. Una de origen marino y el resto continentales que en conjunto abarcan del Cretácico al Reciente.

#### **Calizas y Lutitas**

Aunque esta unidad es la más antigua del área cartografiada, no forma el basamento sobre el que fueron depositadas todas las demás unidades rocosas existentes debido a que se encuentra expuesta por la acción de un cuerpo intrusivo que levantó a esta unidad.

Afloran solo en la parte noroccidental del área, en el poblado de Juriquilla, sobre una superficie burdamente semicircular de unos 7 km<sup>2</sup> aproximadamente.

#### **Litología**

En otros trabajos, se ha considerado que esta unidad corresponde a rocas de la Formación Soyatal o Caracol, la cual consiste de una serie de lutitas calcáreas café grisáceas que intemperizan en café amarillento, con interestratificaciones de capas de caliza gris en estratos de espesor medio a delgado (0.30 a 0.05m).

Se presentan bandas de calcita café claro y blanquecina

Las lutitas se encuentran sumamente plegadas, presentando gran fisilidad en otros afloramientos de la misma zona se aprecia una inclinación de las capas de entre 45° y 60° en contacto con dacita porfídica a manera de intrusión dentro de las capas de caliza y lutita.

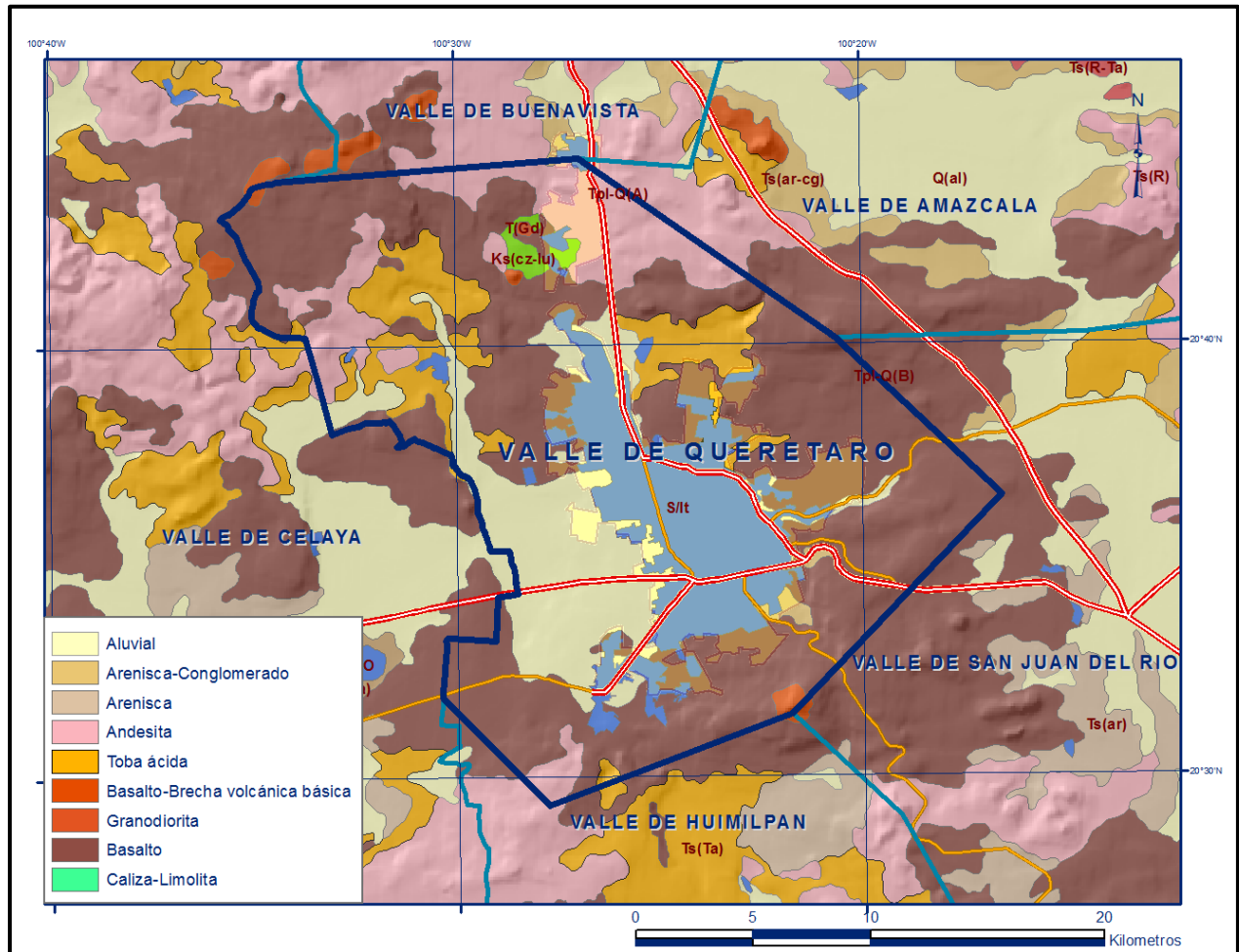


Figura 2. Geología del acuífero

### Andesitas

Existen afloramientos en toda el área estudiada, de pequeña magnitud, en la parte norte-oeste. Prácticamente en contacto con las calizas se encuentra una pequeña exposición de forma irregular. Se observa en el camino que va del poblado el Nabo hacia la Hacienda San Miguelito. Un poco al sureste de este afloramiento se presentan otras exposiciones de rocas andesíticas que conforman el cerro La Gallina y el poblado de Mompaní.



Hacia la parte noreste de la zona estudiada se encuentran afloramientos en el poblado de La Solana, de macizos de andesita-dacita de coloración gris rosada y violácea, con amplias zonas de alteración; formando lomas de poca altitud y bien redondeadas.

En la parte central se observan otras manifestaciones andesíticas, en el poblado de Los Olvera y en Cerro El Picacho.

Hacia la parte centro sur hay unos pequeños afloramientos semicirculares, ubicados al sur de Santa Teresa y colindando con el Cerro Tres, en cuyo corte de la carretera pavimentada que va de Querétaro a Huimilpan, cruzando por el Cerro Cimatario, se aprecia este tipo de roca.

Una última exposición, de dimensiones considerables y de gran altitud lo constituye el Cerro Blanco, El Venado y la Víbora, en donde se encuentran emplazados los poblados de los Bordos, El Granjeno, La Peña, Piedras Lisas y parte de Huimilpan.

La constitución petrológica de la unidad de andesitas es muy variable ya que los recorridos realizados de norte a sur del área estudiada muestran variaciones en su petrografía.

La unidad va desde una andesita pura hasta una andesita con cuarzo y una tranquiandesita, debido a la presencia o no de cuarzo que cuando menos presentan un 10%.

Las texturas van desde muy porfídicas a porfídicas de matriz microcristalina, las coloraciones también van de gris rojizo a gris rosada.

En todos los afloramientos la unidad se presenta muy fracturada en todas direcciones dura, densa y masiva.

Presenta fuertes alteraciones de tipo supergénico, además de también muy fuertes alteraciones por procesos hidrotermales con reemplazamientos y fenómenos de dinamometamorfismo, como sucede en los afloramientos del poblado de Mompaní y La Solana, en donde la roca se ha pulverizado prácticamente y ha perdido totalmente la fábrica original quedando un polvo amarillento y rosado o violáceo muy deleznable.

Hacia la parte sur ya no se presentan estos fenómenos de alteración tan pronunciados, aquí la roca es más densa y con mayor contenido de sílice pasando a ser una dacita porfídica. El macizo rocoso expuesto al sur puede corresponder a un emplazamiento somero subvolcánico, de coloración gris rosado.

### **Andesita Alterada**

Esta unidad se reconoció en la zona centro norte, sobre la carretera que va de Jurica al poblado el Nabo, formando una franja delgada de menos de 10 m de anchura y 2 km de longitud.

Se confunde e interdigita con basaltos; petrográficamente se ha clasificado como andesita, andesita basáltica de pigeonita y basalto; según la composición de sus plagioclasas, su textura es afanítica poco porfídica; microlítica, holocristalina, intergranular, con formas concéntricas y esferoidales, en algunos casos, dentro de esa alteración se detectan con una mineralización incipiente una capa de sílice coloidal, a veces con superficie botroidal, verde azulada, relleno de fracturas o reemplazando a la roca en sí.

Existen afloramientos con una roca muy fracturada, posiblemente silicificada y dura y otros con poco fracturamiento, pero muy alterada.

Se observa un cierto grado de metamorfismo o metasomatismo de rango sumamente bajo, como queda indicado por la presencia de clorita, sericita y epidota; en este caso la epidota indica un reemplazamiento por sustitución o diferenciación metamórfica, que la asocia a fenómenos de emplazamiento de cuerpos endógenos o diques a partir de cuerpos graníticos, granodioríticos y de sienitas cuarcíferas.

### **Ignimbritas**

Manifestaciones de esta unidad se exponen en unos afloramientos que se encuentran en el área del Nabo, sobre el arroyo Mompaní quizá puedan corresponder a las últimas estribaciones de los derrames procedentes del oriente o bien sean locales, ya que en pozo El Nabo se cortaron 350 m de ignimbritas de textura brechoide y tobácea.

### **Litología**

Estos derrames, junto con los de San Juan del Río, posiblemente provengan de la caldera Huichapan, en el Estado de Hidalgo constituyen una variada litología que va desde corrientes piroclásticas, tobas soldadas con abundantes fragmentos de cuarzo en una matriz criptocristalina o vítrea, con estratificación graduada; hasta derrames vítreos bien estratificados con líneas de fluidez bien definidas.

Las coloraciones también son muy variables en tonos rosados a rojos púrpura, a grises en los afloramientos de “piedra pómez”.

Posiblemente las emisiones detectadas sobre el Río Querétaro, provengan del cuello volcánico que se encuentra en Coyotillos, ya que se trata de un emplazamiento somero de carácter porfídico de composición riolítica y a un volcanismo de tipo peleano.

El espesor de los afloramientos de la parte nororiental parecen ser de mucho mayores que los que se presentan en la parte norte y centro ya que estos últimos tienen espesores someros, de unos a pocas decenas de metros.

### **Basalto Lajeado**

Distribución esta unidad aflora en diferentes lugares y de diversas dimensiones por toda el área de estudio. De norte a sur, se presentan en la Tinaja de la Estancia; en San Miguelito y al poniente de Santa Rosa Jauregui, en San Isidro el Viejo, al norte de Mompaní y el Nabo, al sur de Tlacote El Bajo, también hacia el sur oriente en las inmediaciones de Santa Teresa.

### **Litología**

Se trata de un basalto negro de textura afanítica, pilotaxítica, porfídica, microlítica, con planos de fracturamiento algunas veces oxidados con tonalidades cafés, duro y macizo muy denso, presenta peculiarmente un fracturamiento secundario por efectos de descompresión tensional, aflojando la roca y produciendo un lajeamiento en diferentes direcciones y hasta curvo independientemente de su fracturamiento original por contracción, en bloques grandes separados por planos horizontales y verticales, limpios y abiertos.

### **Sedimentos volcanoclásticos lacustres**

Prácticamente existen en toda el área estudiada, aunque no aflora más que en zonas pequeñas y en franjas muy amplias, sobre todo en la parte centro norte y noreste. Diversos poblados se encuentran emplazados dentro de estos materiales, como Tlacote El Alto San José Buenavista.

Estos sedimentos se encuentran en contacto con diferentes eventos volcánicos: Se encuentra debajo de las coladas y mesetas basálticas de gran extensión superficial en la zona central; debajo de horizontes bien definidos de tobas brechoides principalmente hacia la parte sur, también de gran extensión horizontal y

sobre las rocas que se consideraron como el basamento de vulcanismo calcoalcalino (andesitas, traquitas y algunos emplazamientos someros dacíticos). Esta evidencia se manifiesta en el área del poblado de La Solana, y en San José de Buenavista, no habiéndose encontrado en el resto del área más evidencias en afloramientos o en pozos.

Arenas desde muy finas blanco grisáceas, pumíticas a gruesas y muy gruesas blanco pardas también pumíticas, algunas muy parcialmente consolidadas: arenas y gravillas cafés, bien redondeadas con granulometría uniforme prácticamente limpias de materiales finos.

Dentro de estos depósitos se encuentran intercaladas coladas de lavas andesíticas y/o basálticas de espesor variable, que van desde unos pocos hasta algunas decenas de metros.

Los espesores de estos sedimentos son también de pocos hasta algunos cientos de metros, 340 m en el pozo Loma Bonita y probablemente más de 450 m en la parte central del Valle de Querétaro.

Estos materiales son ampliamente utilizados como bancos de préstamo para fabricación de tabique ligero y relleno de carreteras y otro tipo de construcciones, existiendo innumerables excavaciones profundas, ubicadas en el plano geomorfológico.

### **Tobas Brechoides**

#### Distribución

Esta unidad prácticamente ha sido erosionada o no fue depositada en toda la parte norte y central del área estudiada, con excepción de una zona cercana a El Salto, aunque éstas posiblemente no sean correlacionables con las observadas hacia el sur.

En la parte sur a partir del arroyo El Pueblito o El Batán y al sur del Cerro Pelón afloran rocas de esta unidad en pequeñas exposiciones casi circulares, algunas han sido descubiertas para su explotación como canteras de roca ornamental, cubiertas por una capa de suelo.

#### Litología y Espesor

Son capas horizontales de 2 a 5 m de espesor constituidas por fragmentos angulosos de basalto gris negro poroso y/o vesicular de diferentes tamaños, en una matriz tobácea arenosa café pardo de estructura

compacta de aspecto terroso en algunos casos. Tiene la peculiaridad de verse como arañadas o con muchos surcos en la dirección del escurrimiento de las corrientes pluviales.

### **Tobas Vitrocristalinas**

Su exposición se concentra también hacia la parte sur, ya que en la mayor parte de la zona norte ha sido erosionada o no fue depositada.

Aflora una mínima parte en el área de Menchaca.

Sobre el Río Querétaro se presentan también pequeños afloramientos de esta unidad, aunque de una densidad un poco mayor y con más tendencia a ser ignimbritas.

Más hacia el sur y en los extremos hacia el poniente y al oriente afloran unas amplias zonas de esta unidad, cuya expresión fisiográfica está constituida por una especie de meseta de suelo rocoso prácticamente horizontal; cortada, erosionada y desaparecida por procesos de denudación. El fracturamiento en sistemas ortogonales le da una apariencia de losas bien acomodadas en superficie, casi carente de sistemas hidrográficos.

Petrográficamente es una roca con coloraciones gris, rosada, anaranjada y café, de textura tobácea y piroclástica, compacta, pero con diversos grados de densidad, de ligera a pesada, dependiendo del contenido vítreo. Es producto de un vulcanismo explosivo de tipo peleano transportada por aire y con un desplazamiento muy amplio, de espesor uniforme entre 1 y 5 m, dependiendo de la localidad: proveniente muy posiblemente de la Caldera Amealco, en el Estado de Querétaro.

Esta unidad también se ha utilizado como cantera para trabajos de roca ornamentales, para fachadas de construcciones y como losas de piso.

### **Tobas Limo Arenosas**

Superyaciendo a la unidad anterior se encuentran los depósitos tobáceos propiamente dichos, constituidos por limos arenosos café claro a oscuro, amarillentos en estratos horizontales de diferentes espesores, que forman grandes planicies fácilmente erosionables. Su potencia es mucho mayor en la parte oriental que hacia la parte sur en donde alcanza de 1 a 3 m de espesor.

### **Tobas Vítreas**

Existe un par de afloramientos en donde se aprecian estas rocas, caracterizadas por su expresión fisiográfica consistente en “bad lands” muy erosionables. Están constituidas por tobas vítreas sumamente alteradas por procesos de desvitrificación transformándolas actualmente en minerales totalmente arcillosos, de aspecto jabonoso y bentonítico. Son materiales impermeables.

### **Basalto**

Es la unidad que conjuntamente con los depósitos aluviales conforman la mayor parte de los afloramientos presentes en la zona de estudio.

Conforma extensas mesetas coronadas por coladas lávicas, terminadas en pequeños cantiles de 1 a 5 m de espesor con una fisonomía característica: grandes bloques cúbicos de  $\pm 1$  m por lado, separados por planos de fracturamiento en sistemas horizontal y vertical muy abiertos y limpios.

Se encuentra suprayaciendo a muchas de las unidades litológicas descritas, ya que para este trabajo se supone es el último de los eventos de vulcanismo de naturaleza básico alcalino.

Así en la parte noroccidental y central se encuentra en contacto por discordancia erosional con los sedimentos volcanoclásticos lacustres: en contacto con el basalto lajeado en la parte norte: al oriente suprayaciendo tanto a las tobas limoarenosas como a las ignimbritas: al sur arriba de las tobas vitrocrystalinas.

Se han descrito numerosos afloramientos en forma megascópica de esta unidad, en toda la zona de estudio, así como la toma de muestras para su estudio petrográfico.

Se han clasificado como basalto de olivino negro, con texturas afanítica, holocristalina, microlítica, glomero-porfídica e intergranular muy denso y pesado, aunque también se interdigita y confunde con las series volcánicas calcoalcalinas anteriores, como sucede con la unidad de andesita alterada en donde no se aprecia una diferencia definida en forma clara.

### **Brecha Volcánica**

Situada encima, en los frentes de las corrientes lávicas, en algunos centros eruptivos y conos cinéuticos y

escoriáceos o estrato volcanes localizados en diversos lugares de la zona de estudio, se encuentra esta unidad que se correlaciona con eventos volcánicos recientes.

Se observa en la cima del Cerro Cimatario, constituye el Cerro El Nabo, sobre las márgenes del Río Querétaro, sobre el corte de la carretera al Penal, en el extremo noroccidental de la zona estudiada sobre el Cerro Muerto y Cerro la Campana, en las estribaciones al norte del Cerro Cimatario, alrededor Cerro Coyotillos en el Cerrito Colorado, al sur del Cimatario, se aprecia en profundos cortes a la entrada de la Ciudad de Querétaro, sobre la autopista México-Querétaro.

Su textura varía desde toba brechoide de tezontle típico de coloraciones gris negro a rojiza, causada por alteración deutérica y actividad fumarólica sobre los minerales ferríferos de la matriz impartiendo una rubefacción intensa a la roca en algunos casos.

Es particularmente peculiar una oxidación limonítica y hematítica que se aprecia en los afloramientos localizados sobre la zona del obraje en San Pedrito el Alto y en las márgenes del Río Querétaro en donde también se aprecian bastantes oquedades dentro de la brecha volcánica algunas de dimensiones considerables, lo que presenta un aspecto de topografía muy abrupta, de grandes y fuertes recovecos causada por una erosión diferencial acentuada, con pendientes muy pronunciadas, que solo se observa en esta zona.

Dentro de estas brechas se ha detectado la acumulación, de sílice cristalino y lechoso, con superficies botroidales y rellenas de carbonatos que han rellenado cavidades planas de fractura, imprimiéndole a la roca una menor permeabilidad.

### **Aluvión y/o Suelo Residual**

Constituye valles de todos tamaños que forman grandes planicies, con un alto porcentaje cubriendo toda la zona cartografiada.

Su litología está constituida por gravas y boleos en matriz arcillosa, limosa y arenosa, con espesores de unos cm hasta unos 70 u 80 m detectados en la zona central del valle.

El suelo residual es tierra de cultivo sobre casi todo tipo de rocas, con mayor abundancia sobre terreno basáltico que permite la filtración del agua de lluvia a estratos inferiores.

## **4. HIDROGEOLOGÍA**

### **4.1 Geofísica**

Dentro del acuífero Valle de Querétaro en su zona comprendida en el valle se han realizado actividades de exploración geofísica consistente en la ejecución de sondeos eléctricos verticales tipo Schlumberger, distribuidos a lo largo y ancho del valle, trabajos realizados por varias empresas en diferentes años cuyos resultados apoyados en cortes litológicos de pozos construidos en el valle sirvieron para definir el modelo conceptual del acuífero.

### **4.2 Geoquímica**

La interpretación hidrogeoquímica se basa en el análisis de las diversas representaciones gráficas de los análisis químicos: las curvas de isovalores de las distintas concentraciones o relaciones iónicas, así como los diferentes diagramas comparativos entre los más usados son: Shoeller, Willcox y Piper.

Estos diagramas se utilizan para la clasificación del agua conforme a su relación iónica, la cual permite la identificación de las posibles fuentes acuíferas, así como para delimitar zonas atendiendo a la calidad del agua.

La calidad y tipo de compuestos en solución va a depender tanto de la composición química de las rocas como de algunas propiedades físicas del acuífero. La cantidad de elementos disueltos en el agua será tanto mayor cuanto más permanezca y avance sin recorrido (circulación regional), ya que tendrá más tiempo de contacto con los minerales solubles de las rocas por las cuales circula.

En la actualidad la mayoría de los cuerpos de agua superficial se encuentran contaminados ya sea en mayor o menor, dependiendo de la cercanía con las fuentes emisoras de los contaminantes el río Querétaro, localizado en la ciudad del mismo nombre no queda exento de este fundamento ya que su lecho alberga descargas municipales e industriales principalmente

De acuerdo a los resultados obtenidos en el periodo nov-dic de 1995 con el fin de evaluar la posible contaminación del acuífero a través del monitoreo y detección de posibles focos de emisión de contaminantes, así como su movilidad en el acuífero Valle de Querétaro.



Con el fin de conocer el grado de contaminación del agua subterránea en la ciudad de Querétaro se efectuó el análisis de grasas- aceites, plomo, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y coliformes totales.

Cabe reiterar que el investigador del acuífero que bombeara a diferentes profundidades según los niveles dinámicos de las captaciones, así como de diversas condiciones físicas.

El acuífero Valle de Querétaro es anisotrópico ya que está formado por una serie de depósitos granulares y de derrames volcánicos lo cual modifica las condiciones del paso de agua a través de su estructura, ya sea en medios granulares o en medios fracturados.

### **Diagramas Triangulares**

El método para clasificar el agua de acuerdo a su composición química, lo constituyen los diagramas triangulares. Dichos diagramas se forman graficando en un triángulo equilátero los cationes (+) y en otro triángulo similar los aniones (-). Para tal efecto, se toman los resultados obtenidos en porcentaje de miliequivalente/ litro. De esta forma, se deduce gráficamente cual es el catión o anión predominante para cada muestra.

### **Familias de Agua**

Se puede definir como familia de agua, a la composición química que esta presenta, dicha composición se obtiene mediante los diagramas triangulares. En el plano se muestra la familia de agua que se presenta en los diferentes valles del Estado donde fue factible el muestreo. Esta delimitación fue en base a los resultados obtenidos del análisis químico.

### **Interpretación Geoquímica**

Chase Palmer dio a conocer un método geoquímico de clasificación de aguas, basado en las propiedades químicas que las aguas subterráneas van adquiriendo a la circular por diferentes medios geológicos.

Este método consiste en el cálculo del índice geoquímico, mediante el balance iónico de cationes y aniones. El índice geoquímico, la determinación de litio y sílice, son los parámetros que nos indican el origen, edad y dirección de flujo del agua subterránea.

Se compararon los resultados obtenidos de los análisis con las normas de calidad que exige la Secretaría de Salubridad, resultando un agua de buena calidad para uso doméstico.

Como resultado de la clasificación agrológica de Wilcox, que clasifica el agua según el grado de salinidad y el contenido de sodio, se concluye que 113 muestras de agua pertenecen a la clase C2-S1, 7 a la clase C1-S1 y 5 a la clase C3-S1, que corresponda a agua de buena calidad.

Los resultados se graficaron en diagramas de piper, para clasificar el agua “en familia de agua”, en un plano de los diversos valles del estado de Querétaro, obteniéndose familias de agua sódicas bicarbonatadas, cálcica y magnésica bicarbonatadas.

En base a la interpretación geoquímica y el contenido de sílice, se determinó el origen del agua subterránea de la zona El Batán, resultando ser un agua de origen magmático, además de pertenecer a la familia de agua, cálcica, magnésica bicarbonatada.

Basándose en los puntos anteriores, se concluye que el agua de los diversos valles de Querétaro, es en general de buena calidad para consumo humano, excelente para el abrevadero y apropiada para riego agrícola.

#### **4.3 Piezometría**

Con el propósito de conocer la posición y la evolución que presentan los niveles del agua subterránea a partir del año de 1994 a la fecha se han realizado dos recorridos de medición de niveles; la primera se efectúa en los meses de mayo-junio y la segunda en los meses de noviembre - diciembre.

Estos recorridos se están efectuando con apoyo del Gobierno del Estado a través del Organismo operador de Agua Potable (CEA), a continuación, se dan los resultados actuales de dichos recorridos.

La profundidad del nivel estático en la zona plana del valle es de 100 a 110 metros. Localmente las máximas profundidades se encuentran en el Romeral, San Pedro Mártir, El Estadio y La zona Industrial Benito Juárez, con un promedio de 130 metros en las primeras tres y hasta 160 en la última. En la zona de la Cañada se localiza entre 50 y 70 m y en las proximidades de El Salitre y San Pedrito el Alto de 30 a 50 m.

La línea elevación del nivel estático en el valle se caracteriza por el equipotencial 1700 msnm. La curva 1710 se restringe a las zonas de entrada y salidas subterráneas a la altura de los poblados Tlacote El Bajo, Zona Industrial, la Alameda y Villa Corregidora, así como a las zonas de sierra. El comportamiento general observado para este periodo indica que continúa presentándose la principal entrada de agua subterránea al valle procedente del valle de San Juan del Río Pedro Escobedo, con diferencias de carga entre las curvas equipotenciales 1800 a 1710 msnm en dirección del acuífero; éstas se encuentran aglutinadas en el estrecho natural que forma la estructura de la Cañada: para las entradas subterráneas procedentes de los valles de Huimilpan, Buenavista y El Tlacote se mantiene de igual forma la dirección del flujo subterráneo hacia el centro del valle de Querétaro, así como hacia el Estado de Guanajuato. En la zona de San Pedro Mártir continúa expandiéndose el cono piezométrico generado con la curva 1700 msnm, provocado esto por la constante extracción para abastecimiento público. Por otro lado, en la zona industrial se observa la máxima depresión piezométrica del acuífero Valle de Querétaro, representada por la línea equipotencial 1660 msnm, debido a factores de recarga y a la litología arcillosa del medio.

La evolución anual del nivel estático en promedio es de 3.5 (diciembre de 1994 y diciembre de 1995), atribuida ésta, a la operación de un número de pozos cada vez mayor. En el corredor industrial Benito Juárez se presentan abatimientos de  $-1.0$  m, entre las localidades de Cerrito Colorado, San Juanico y Casa Blanca la evolución fue de  $-2.0$  m, entre Santa María Magdalena y la Unidad Deportiva los abatimientos anuales fueron de  $-3.0$  m, en tanto que la porción que evolucionó más drásticamente se localiza entre San Pedro Mártir y el ejido El Castillo con  $-113.0$  y  $-4.0$  m respectivamente.

Cabe resaltar que la máxima evolución está sustentada con un solo dato puntual del pozo 1313-A propiedad del rancho La Palpa. Hacia los límites con el estado de Guanajuato la evolución negativa promedio fue de  $-4.0$  m.

Se interpretaron 18 pruebas de bombeo todas ellas en estado de abatimiento de las cuales 16 fueron representativas de Acuífero libre. De estas, diez estas, corresponden al medio fracturado y seis al medio poroso. Las 2 pruebas de bombeo restantes fueron interpretadas como acuíferos semiconfinados en medios porosos. La duración del bombeo fue variable entre 0.5 y 8 horas.

## **5. CENSO DE APROVECHAMIENTOS**

La actualización del censo de aprovechamientos se ha venido realizando a partir del año de 1991 a la fecha a través de Gobierno del Estado y la Comisión Nacional del Agua, en esta actualización se tiene registrados todos los aprovechamientos activos, su clasificación de acuerdo al uso, se cuenta con una red de pozos

pilotos, además se lleva la hidrometría subterránea para conocer los volúmenes de extracción y la situación que guardan los pozos.

En este valle se tienen censados 239 aprovechamientos activos, de los cuales 75 corresponden al uso agrícola y abrevadero, 113 pozos se utilizan para uso público- urbano y recreativo y 51 para el uso industrial.

## **6. BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA**

Acuífero Valle de Querétaro

Se realizó la actualización del balance volumétrico de aguas subterráneas, con el propósito de evaluar las condiciones de funcionamiento del Valle de Querétaro.

A la fecha en estas zonas se han localizado nuevas reposiciones de pozos, las cuales se han integrado al funcionamiento del acuífero, de tal forma que se cuenta con una historia de censo de aprovechamientos, hidrometría, piezometría y pruebas de bombeo más completa de los mismos.

### **6.2 Ecuación de balance**

La ecuación de balance considerada para el Valle de Querétaro es de la siguiente forma:

$$E + S = AV * S$$

Donde:

E = entradas totales al sistema

S = salidas totales del sistema

AV = cambio de almacenamiento

S = coeficiente de almacenamiento

La ecuación anterior expresa la diferencia entre los volúmenes de recarga y descarga para un sistema acuífero y equivale al cambio en el volumen de almacenamiento para un periodo de tiempo determinado.

A continuación, se hace una descripción de los términos que involucran a las entradas totales al sistema, se expresan por la siguiente fórmula:

$$E = Es + Rr + Rv$$

Donde:

Es = entradas subterráneas

Rr = retornos por riego

Rv = recarga vertical

Los términos que involucran a las salidas totales del sistema, se expresan por la siguiente fórmula:

$$S = B + Ss$$

Donde:

B = extracción por bombeo de pozos

Ss = salidas subterráneas

#### **Almacenamiento del sistema**

$$Av * S$$

$\pm Av$  = cambio de almacenamiento

S = coeficiente de almacenamiento

De esta forma involucrando todos los términos mencionados anteriormente en la ecuación general de balance se tiene:

$$(Es + Rv + Rr) - (B + Ss) = \pm Av * s$$

En la ecuación anterior el coeficiente de almacenamiento es un dato obtenido en el estudio de 1992 realizado por Guysa S.A.

### Entradas y salidas subterráneas

Para el cálculo de las entradas y salidas subterráneas del sistema se utilizaron las configuraciones de elevación del nivel estático correspondientes al mes de diciembre de 1996, de esta forma se identificaron las direcciones de flujo preferencial y los gradientes entre las curvas equipotenciales.

### Retornos por riego

En vista que el 35% del volumen de extracción de agua subterránea se utiliza para riego agrícola en el valle, se hizo el cálculo de los retornos por riego utilizando la metodología propuesta en el estudio geohidrológico de 1992 elaborado por la empresa Guysa S.A.

El Distrito de Desarrollo Rural 122 perteneciente al distrito de Querétaro proporciono a esta compañía una tabla con valores de lámina neta, lámina bruta y uso consuntivo para diversos tipos de cultivos en la zona, además de las superficies totales destinadas para el riego en su ciclo agrícola correspondientes a 1996 y el cual fue transferido para el periodo de 1997.

Los volúmenes de retorno se calcularon a partir de la lámina neta menos el uso consuntivo, multiplicada a su vez por el área de riego de esta forma se obtuvo un volumen de retorno para el periodo de enero a diciembre en todo el valle de Querétaro.

### Extracción por bombeo

El volumen de extracción por bombeo se tomó de la hidrometría subterránea correspondiente a los seguimientos de 1996 por considerar que cubren la totalidad del valle.

Uso	Volumen (hm <sup>3</sup> )
Agrícola	28.00
Industrial	8.00
Potable	67.00
TOTAL	103.00

El uso de abrevadero se cuantifico en el uso agrícola.

### **Cambio de almacenamiento**

Para el cálculo del cambio de almacenamiento se utilizó la configuración de la evolución del nivel estático para el periodo diciembre de 1996 a diciembre de 1997.

### **Coefficiente de almacenamiento**

El valor del coeficiente de almacenamiento considerado para la ecuación de balance, es el mismo que se usó en el estudio de 1992 por Guysa S. A. su valor es de 0.073.

### **Solución de la ecuación de balance**

Una vez definidos los términos de la ecuación procederemos a dar solución a la ecuación de balance considerando que esta se aplica para el periodo de diciembre de 1996 a diciembre de 1997 con un tiempo de duración de un año.

Si aplicamos la solución de balance para el año de 1997, se tiene:

$$\begin{aligned} E_s &= 27.0 \text{ hm}^3 \\ S_s &= 4.0 \text{ hm}^3 \\ R_r &= 4.00 \text{ hm}^3 \\ B &= 103.00 \text{ hm}^3 \\ R_v &= 39.00 \text{ hm}^3 \\ A &= 270.0 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

De esta forma el valor de entradas y salidas del sistema es igual a:

$$\begin{aligned} E &= E_s + R_r + R_v \\ E &= 70.00 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \\ S &= B + S_s \\ S &= 107.0 \text{ hm}^3 \text{ en el periodo} \end{aligned}$$

Los resultados anteriores indican que existe un déficit de  $-37 \text{ hm}^3$  entre la recarga y descarga total del acuífero lo que equivale al 34% de la recarga total y esto representa un abatimiento de 3.1 m al año.

## 7. DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA

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:

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

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

### 7.1 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 **70.0  $\text{hm}^3/\text{año}$** , todos ellos son de recarga natural.

### 7.2 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 Querétaro la descarga natural comprometida es de **4.0  $\text{hm}^3/\text{año}$** .



### 7.3 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 **129,724,840 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **20 de febrero del 2020**.

### 7.4 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.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 70.0 - 4.0 - 129.724840 \\ \text{DMA} &= -63.724840 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que no existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de **63,724,840 m<sup>3</sup> anuales** que se están extrayendo a costa del almacenamiento no renovable del acuífero.

## **8. BIBLIOGRAFIA**

El valle de Querétaro ha sido motivo de numerosos estudios geohidrológicos a través del tiempo, aunque casi siempre en forma fraccionada en cuanto a superficie y aspectos abordados. Los realizados entre 1970 a 1986 fueron realizados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y fueron enfocados básicamente a conocer las características hidrogeológicas y la disponibilidad de agua subterránea.

Los más recientes a la fecha (1991, 1996) fueron realizados con patrocinio del gobierno del estado a través del organismo operador CEA.

Ingeniería y Sistemas, S.A. (INSISA). Estudio geohidrológico de los valles de Querétaro, San Juan del Río y Tequisquiapan, en el estado de Querétaro. SRH 1970

Estudio hidrogeoquímico en diversos valles del estado de Querétaro S.A.R.H. 1986

Estudios y Construcciones ALAS, S.A. Estudio geohidrológico del valle de Querétaro para la Subdirección de geohidrología y de Zonas Áridas. S.A.R.H. 1979

Dirección de Aguas Subterráneas. Sinopsis geohidrológica del estado de Querétaro S.A.R.H. 1988

Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. Estudios de seguimiento geohidrológico de los valles de Querétaro, San Juan del Río, Pedro Escobedo-Chichimequillas, Amazcala-Tequisquiapan. Ezequiel Montes, Colon, Huimilpan y 8. Amealco para la Comisión Estatal de Aguas, Gobierno del estado de Querétaro 1990-1991

Geofísica y Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. Estudio geohidrológico integral de los valles de Querétaro y sus alrededores, para el manejo automatizado de los recursos hidráulicos subterráneos. Para la Comisión Estatal de Aguas, Gobierno del estado de Querétaro 1990-1991

Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A de C.V. Modelo de optimización. Para la comisión Estatal de Aguas. Gobierno del estado de Querétaro 1995

Anuario estadístico del Municipio de Querétaro 1996

Censo, piezometría, hidrometría y balance de aguas subterráneas. Comisión Nacional del Agua Gerencia Estatal 1996