

**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**

**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO VALLE DE CADEREYTA (2206),  
ESTADO DE QUERÉTARO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación administrativa del acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>6</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA.....</b>	<b>9</b>
3.1 Provincia fisiográfica.....	9
3.2 Clima.....	9
3.3 Hidrografía.....	10
3.4 Geomorfología.....	12
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
4.1 Estratigrafía.....	12
4.2 Geología estructural.....	15
4.3 Geología del subsuelo.....	16
<b>5. HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
5.1 Tipo de acuífero.....	17
5.2 Parámetros hidráulicos.....	18
5.3 Piezometría.....	19
5.4 Comportamiento hidráulico.....	19
5.4.1 Profundidad al nivel estático.....	19
5.4.2 Elevación del nivel estático.....	19
5.4.3 Evolución del nivel estático.....	20
5.5 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea.....	21
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA .....</b>	<b>21</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</b>	<b>22</b>
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga natural.....	22
7.1.2 Recarga inducida.....	24
7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal.....	24
7.2 Salidas.....	25
7.2.1 Evapotranspiración.....	25
7.2.2 Descarga natural.....	25
7.2.3 Bombeo.....	26
7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal.....	26
7.3 Cambio de almacenamiento.....	26
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>27</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	28
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	28
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	28
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA).....	29
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>30</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 Cadereyta, definido con la clave 2206 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en la porción oriental del estado de Querétaro, entre las coordenadas geográficas 20° 32' y 20° 47' de latitud norte y 99° 53' y 99° 29' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 459 km<sup>2</sup>.

Limita al oeste con el acuífero del Valle de Tequisquiapan, al norte con el acuífero de Tolimán; al sur y al oriente con el estado de Hidalgo (figura 1).

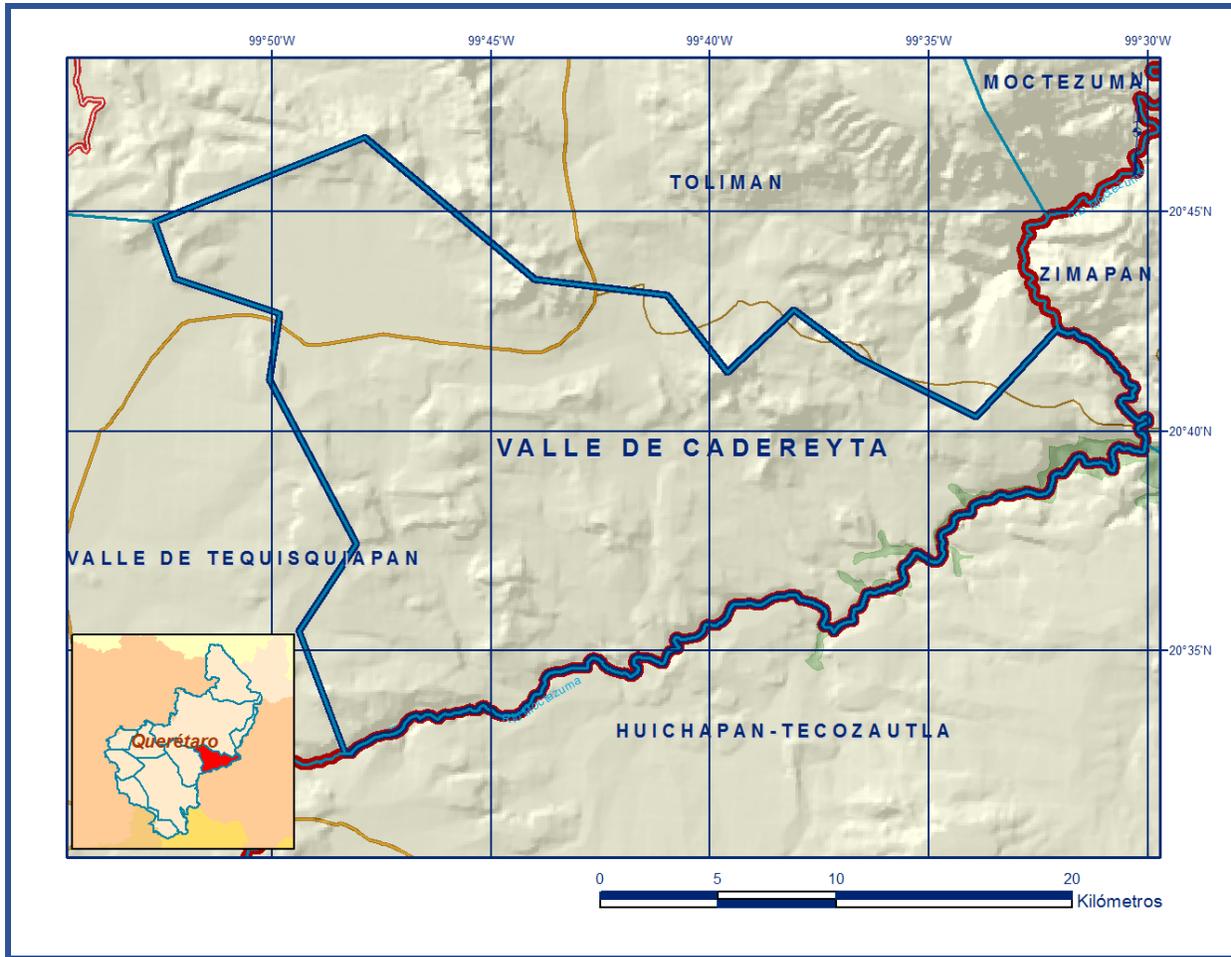


Figura No. 1. Localización del acuífero

Geográficamente se localiza entre los paralelos  $20^{\circ} 32'$  y  $20^{\circ} 46'$ , y entre los meridianos  $99^{\circ} 30'$  y  $99^{\circ} 52'$  al oeste de Greenwich. Las coordenadas del polígono para enmarcar el área del acuífero, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

**ACUÍFERO 2206 VALLE DE CADEREYTA**

VERTICE	LATITUD NORTE			LONGITUD OESTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	99	32	2.4	20	42	21.7	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	99	30	3.2	20	39	43.1	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	99	48	20.7	20	32	39.4	
4	99	49	23.6	20	35	27.3	
5	99	48	5.2	20	37	26.3	
6	99	50	4.0	20	41	11.0	
7	99	49	50.2	20	42	40.8	
8	99	52	13.7	20	43	28.5	
9	99	52	41.3	20	44	45.6	
10	99	47	53.8	20	46	41.4	
11	99	44	0.8	20	43	27.2	
12	99	40	58.5	20	43	6.0	
13	99	39	36.0	20	41	20.7	
14	99	38	4.7	20	42	45.7	
15	99	36	38.0	20	41	41.2	
16	99	33	55.4	20	40	20.3	
1	99	32	2.4	20	42	21.7	

De acuerdo con la división política del estado de Querétaro, el acuífero abarca principalmente, en forma parcial, al municipio de Cadereyta de Montes y en menor proporción el municipio de Ezequiel Montes.

Entre las poblaciones principales que se localizan dentro del municipio de Cadereyta de Montes y comprendidas en la zona se encuentran: Cadereyta, Portezuelo, Pueblo Nuevo, Villa Guerrero, El Canelo, Las Loberas, Nopalera, Pathé, Siquia, Las Trancas, Boye, Santa María del Palmar y La Puerta, entre otros.

De conformidad con datos de la CONAPO, el municipio de Cadereyta de Montes en el año 2000 contaba con una población de 53,182 habitantes, mientras que según sus estimaciones para el año 2004, se esperaba que fueran del orden de 54,100 habitantes. Conviene aclarar que para el municipio de Ezequiel Montes el número de habitantes en el año 2000, según CONAPO, eran 28, 538. Sin embargo, se puede decir que dentro del área donde se encuentra el acuífero el número de habitantes es bajo.

**1.2 Situación administrativa del acuífero**

Dentro de los límites del acuífero se localizan tres vedas. La primera publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de octubre de 1951, cuyo Decreto establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en terrenos de la población de Cadereyta.

En su Artículo primero establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en terrenos de la población de Cadereyta, Qro. y circundantes, dentro del municipio del mismo nombre, localizados en el Plan de Cadereyta dentro del polígono cuyos vértices se describen en dicha publicación. El artículo segundo, menciona que excepto cuando se trate de pozos de agua para usos domésticos, a partir de la fecha en que este decreto se publique en el Diario Oficial de la Federación, nadie podrá efectuar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona vedada, sin previo permiso por escrito de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la que sólo lo otorgará en los casos en que de los estudios correspondientes se deduzca que no causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

El 11 de febrero de 1956 se publica en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo que declara veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circundan a la población de Tecozautla, Hgo. El artículo primero establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en los terrenos que ocupa y circundan a la población de Tecozautla, Hgo. dentro de los límites que se describen en dicho Decreto.

Excepto cuando se trate de alumbramiento para usos domésticos, a partir de la fecha en que este decreto entre en vigor, nadie podrá efectuar alumbramientos de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada sin previo permiso por escrito de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, la que solo expedirá en los casos que de los estudios respectivos se deduzca que no se causarán los daños que con el establecimiento de la veda tratan de evitarse.

Al efecto, los interesados en alumbrar aguas del subsuelo dentro de la zona de veda, inclusive compañías y contratistas particulares que las realicen, no podrán efectuarlas sin contar previamente con el permiso correspondiente y, de obtenerlo, estarán obligados a realizar las obras de conformidad con las especificaciones que en el permiso se fijan por dicha Secretaría. El 6 de febrero de 1976 se publicó el Decreto que declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de la zona circunvecina a los valles de Querétaro y San Juan del río, Qro. En su primer artículo se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro de los límites geopolíticos de la zona circunvecina a los Valles de Querétaro y San Juan del Río, del estado de Querétaro, para el mejor control de las extracciones, uso y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona.

El artículo segundo, en consecuencia, por causa de utilidad pública se amplía las vedas de los Valles de Querétaro y San Juan del Río. Cadereyta, Tequisquiapan y su primera ampliación, establecidas por decretos presidenciales de fechas 10 de diciembre de 1957, 12 de septiembre de 1951, 18 de octubre de 1950, primera ampliación 13 de noviembre de 1960, publicadas en los Diario Oficiales de la Federación con diferentes fechas, para comprender las partes no vedadas en los Municipios de Corregidora, Pedro Escobedo, Colón, Tequisquiapan, Cadereyta y San Juan del Río, así como la totalidad del municipio de Ezequiel Montes, en el estado de Querétaro.

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y abrevadero que se realicen por medios manuales, desde la vigencia del presente decreto, nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la Secretaría de recursos Hidráulicos, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia Secretaría.

El acuífero Valle de Cadereyta queda comprendido dentro de la Región Administrativa IX Golfo Norte y forma parte del Consejo de Cuenca Río Pánuco.

Actualmente no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS (situación al 26 de noviembre de 2002). De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

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

Para conocer el comportamiento del acuífero Valle de Cadereyta, desde hace varios años se han realizado diversos estudios de carácter geohidrológico en áreas donde tiene influencia, en este sentido a continuación se enlistan los estudios disponibles del mismo.

**ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE FACTIBILIDAD EN LA ZONA DE BERNAL, CADEREYTA Y EZEQUIEL MONTES, QRO. Realizado por Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C. V., para la Comisión Estatal de Aguas de Querétaro, 1990.** El estudio contiene información de una zona de aproximadamente 286 km<sup>2</sup>, e incluye parte del área que comprende la delimitación actual del acuífero Valle de Cadereyta.

De acuerdo a información geológica, geofísica, así como de los niveles de saturación y en general de las observaciones geohidrológicas de la zona de estudio, se concluye la existencia de un acuífero en andesitas fracturadas.

De caudales significativos y niveles de bombeo económicamente explotables en un área fuera del área limitada por el acuífero del valle de Cadereyta, localizada al oeste de la población de Ezequiel Montes y al sureste de las poblaciones de Santa Rosa de Lima y Palo Seco, e indica que en el resto de la zona las posibilidades acuíferas son reducidas y desfavorables por los profundos niveles de saturación y altas resistividades en el subsuelo.

Se definieron tres unidades hidrogeológicas generalizadas: a) relleno aluvial y lacustre, b) boleos de andesitas y andesita fracturada y c) depósitos arcillo-limosos con gravas y gravillas. La primera unidad hidrogeológica que se presenta después del suelo vegetal y hasta una profundidad promedio de 70; con límite inferior hasta del orden de 140 m puede constituir un acuífero, si el nivel de saturación es somero y se almacena agua en un espesor significativo.

La segunda unidad que se encuentra subyaciendo a la anterior, a una profundidad promedio de 170 m con límite inferior a una profundidad del orden de 210 m es la unidad productora principal de la región, ya que por su fracturamiento los pozos captan caudales apreciables de agua en esta. La tercera unidad hidrogeológica se localiza a profundidades del orden de 215 m en promedio, su límite inferior se desconoce pero de acuerdo a sondeos eléctricos indican que es mayor a 300 m. En el área donde se localiza el acuífero Valle de Cadereyta se determinaron tres zonas que ofrecen diferentes posibilidades acuíferas: Una zona con posibilidades acuíferas, media a reducidas, localizada hacia la parte de valle donde se tienen depósitos aluviales y lacustres (sin embargo, a pesar de ser una fosa tectónica con amplio espesor de relleno granulares, los niveles de saturación se encuentran a profundidades del orden de 170 m), dentro de esta misma zona de posibilidades acuíferas media a reducida se encuentra el área ubicada al sureste de la población de Tabares, constituida por la Formación Tarango, indiferenciado del Sistema Terciario.

Otra zona con posibilidades hidrogeológicas muy desfavorable, ocupa porciones aisladas, como es el caso del área donde se localizan los poblados de Los Espino y Villa Guerrero, así como el cerro El Tecolote y mesa los Potreritos; está constituida por rocas volcánicas y sedimentarias, tobas ígneas compactas y material fragmentado de origen volcánico muy fino de escasa permeabilidad. La tercera zona, con posibilidades acuíferas medias, se encuentra localizada en las vecindades del poblado de Cadereyta, y otros poblados cercanos como Pueblo Nuevo y Zituni.

En estas áreas los materiales están constituidos por rocas volcánicas riolíticas en las que se aprecia un rasgo estructural de fracturamiento que puede continuarse a profundidad y servir como mecanismo de recarga a las rocas que la subyacen.

Los niveles estáticos en la zona del valle de Cadereyta se observaron a profundidades del orden de 180 m. Asimismo, se determinó que los caudales de extracción que se evaluaron son bajos y del orden de 15 lps.

**SERVICIOS DE PROSPECCIÓN Y LEVANTAMIENTOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS EN LA ZONA DE CADEREYTA-JALPAN, ESTADO DE QRO. Realizado por la empresa Técnicos Asesores y Constructores, S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1980.** El estudio abarca un área total de 4000 km<sup>2</sup>, y de esta sólo una porción pequeña corresponde a una parte del área administrativa del acuífero Valle de Cadereyta. De acuerdo a los trabajos realizados se concluye que geohidrologicamente la zona de estudio presenta escasas posibilidades de llevar a cabo explotaciones de agua subterránea en mediana y gran escala, de 10 unidades geológicas aflorantes y reconocidas en la superficie y el subsuelo, solamente dos de ellas presentan buenas condiciones acuíferas. La primera está constituida por calizas de la Formación El Doctor; las cuales a causa de su fracturamiento y disolución pueden presentar permeabilidad alta.

La segunda unidad se aloja en los rellenos aluviales, su potencial está sujeta al espesor que pudiera alojarse en los pequeños valles. Se indica que en el valle de Cadereyta los materiales que afloran son depósitos aluviales, mientras que en las partes altas que se encuentran dentro del área estudiada presenta afloramientos de emisiones volcánicas del Terciario. El estudio señala que el resto de las unidades calcáreas se asocian a rocas masivas, secas y compactas; los paquetes sedimentarios arcillo-calcáreo muestran alta compacidad, mientras que los materiales de relleno presentan permeabilidad media, y que la capa superficial de alteración es una delgada capa. Se indica que geohidrologicamente la zona presenta escasas posibilidades de llevar a cabo explotaciones de agua subterránea en mediana y gran escala. Se manifiesta que por lo abrupto del terreno y el cambio rápido de pendiente, se origina un drenado rápido del agua de lluvia impidiendo la infiltración de agua, la cual es muy escasa. El drenado rápido de la zona va a converger y alimentar finalmente al río Moctezuma.

En términos generales, el agua en la zona de estudio es buena y apta para su uso de abrevadero y potable. Para riego también se considera buena sin restricciones. Las concentraciones de sólidos totales variaban de 70 a 826 ppm.

De los datos del censo de aprovechamientos se observa que los aprovechamientos hidráulicos subterráneos son muy escasos en toda el área (4000 km<sup>2</sup>), habiéndose censado 65 de ellos siendo 8 pozos, 2 sondes exploratorios, 21 manantiales y 34 norias. De ellos, tres pozos y un manantial se localizan en el área de Cadereyta que en parte se encuentra dentro de la zona estudiada.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincia fisiográfica**

El acuífero Valle de Cadereyta se encuentra contenido en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, según la clasificación de E. Raisz (1964), donde han tenido lugar una serie de acontecimientos naturales desde fines del Cretácico hasta el Terciario, destacando la llamada Revolución Laramide.

La provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, definida por Raisz, está orientada a grosso modo de W-E, que corta al país en una franja comprendida entre los paralelos 19° y 21°. Esta provincia dentro del estado de Querétaro expone un relieve de intensa actividad volcánica iniciada desde el Terciario hasta el Cuaternario cuyas depositaciones cubrieron a rocas sedimentarias del Mesozoico. Se presentan rocas antiguas de composición riolítica y andesítica y recientes de composición basáltica.

El relieve es cortado por fallas normales que dieron origen a pilares y profundas fosas estructurales estas últimas rellenas por sedimentos volcánicos, lacustres y aluviales donde se formaron valles. La zona de sierras es en general de forma alargada con rumbo norte-sur.

El drenaje superficial en las sierras altas es de tipo subparalelo y arborescente con cauces profundos y de fuerte pendiente, en los lomeríos el drenaje es de tipo radial con cauces poco profundos, y en los valles es subdentrítico y en paralelo con cauces someros. Los ríos más importantes dentro de esta provincia en el área del estado de Querétaro son el río Querétaro y el río San Juan.

#### **3.2 Clima**

Según los criterios de Wilhem Köppen modificados por Enriqueta García, el clima en el área se clasifica dentro del tipo BS<sub>1</sub> semiseco, subtipo BS<sub>1</sub>kw(w) semiseco templado, y en menor proporción del subtipo BS<sub>1</sub>hw semiseco semicálido ambos con lluvias en el verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5. En esta región el clima presenta una condición de canícula.

El promedio anual de la temperatura para la zona es de 16° C a 18 ° C. De acuerdo a los datos del Anuario Estadístico de 1996 la temperatura media anual es del orden de 16° C. La precipitación media anual es de 500 mm. De acuerdo a la información presentada en el estudio realizado en 1990 indica que varía de 450 a 630 mm. La Evaporación potencial media anual es de 1900 mm/año.

### **3.3 Hidrografía**

La corriente principal que se encuentra en la zona es el río San Juan, que conforma la subcuenca del mismo nombre y la cual además de abarcar al acuífero del Valle de Cadereyta comprende a los de Valle de San Juan del Río y el del Valle de Tequisquiapan en el estado de Querétaro.

El origen del río San Juan ocurre en el estado de México, con el nombre de Arroyo Zarco. Se inicia a 2.5 km al oeste de la población de San Andrés Timilpan, Méx.; este río después de atravesar parte del estado de México ingresa al estado de Querétaro poco después del poblado de Taxhie.

Continúa la corriente con la misma dirección general hacia el noroeste y a 5 km de haberse internado en el estado de Querétaro, a una altitud de 2070 msnm, recibe por la derecha las aguas del río San Sebastián, cambiando su curso hasta su confluencia con el Río Prieto, 5 km aguas abajo a una elevación de 2000 msnm, la que se verifica por la margen izquierda.

Conviene señalar que a partir de la confluencia del río Prieto y Arroyo Zarco la corriente es mejor conocida como río San Juan.

Continuando con la corriente y a 10 km, de la confluencia del río Prieto, a 1950 msnm, se llega a la presa derivadora “Constitución 1857” de la que parte un canal del mismo nombre, que tiene por objeto alimentar a la presa “Constitución 1917” ubicada sobre el río Caracol.

Aguas abajo de la derivadora “Constitución 1857” se localiza, a 500 m, la presa derivadora “Lomo de Toro” de la que parte por la margen izquierda el canal principal, y por la otra margen, el canal margen derecha. Continuando con la corriente y a 10 km de la presa “Constitución 1857” la corriente cruza la carretera de cuota México-Querétaro por la parte occidental de la población de San Juan del Río, Qro.

A esta altura el cauce se desarrolla sobre el Valle de San Juan del Río y continúa con dirección al noreste hasta llegar a la presa “El Centenario”, posteriormente el río presenta una dirección al norte y después del poblado de Tequisquiapan, donde aumenta su caudal con las aportaciones de manantiales de esta zona, el río continúa su dirección hacia el noreste para llegar a la presa derivadora “Paso de Tablas”.

Al salir de la presa “Paso de Tablas”, el río San Juan ha dejado atrás las planicies del Valle de Tequisquiapan y se encauza con dirección noreste en las estribaciones de la Sierra Gorda, mencionándose como dato interesante que de este punto cuya elevación es del orden de 1800 msnm hasta su confluencia con el río Tula a una elevación del orden de 1600 msnm, la pendiente es del orden de 0.0038; en este último sitio se ubica la Presa Zimapán, y donde aguas abajo escurre con el nombre de río Moctezuma, el cual a su vez es afluente del río Pánuco.

Es importante señalar que a 1 km aguas debajo de la presa derivadora “Paso de Tablas”, la corriente del río San Juan sirve por cerca de 46.5 km de límite natural entre los estados de Hidalgo y Querétaro.

Por su parte, el origen del río Prieto ocurre en los escurrimientos procedentes del cerro Peña Larga, a una elevación de 3100 msnm, a 2 km al norte de San Miguel Acambay, estado de México, con el nombre de arroyo Ñado. Después de recibir diversos aportes, la corriente continua y llega a la presa San Ildefonso, en el estado de Querétaro, continuando su desarrollo hacia el norte y después de 10 km de recorrido a partir de la mencionada presa confluye por la margen izquierda con las aguas del río Arroyo Zarco.

A lo largo del recorrido total del río San Juan recibe aportaciones de numerosos arroyos; en el área se encuentran entre otros arroyos los: Cadereyta y Cerro Blanco. Pertenece a la Región Hidrológica No. 26, del Río Pánuco; a la Subregión Alto Pánuco 26 B; a la cuenca del río Moctezuma; a la subcuenca del río San Juan.

Además de la Presa Zimapán, ubicada en el límite oriente del área, existen algunos canales, así como obras complementarias para utilizar parte de las aguas superficial como bordos y represas, y en general existen aprovechamientos subterráneos los cuales se describirán con detalle en el apartado de censo de aprovechamientos e hidrometría.

### **3.4 Geomorfología**

La morfología del paisaje está representada por diversos tipos de estructuras volcánicas, que por ser relativamente jóvenes están bien conservadas como son: conos cineríticos, volcanes compuestos, flujos piroclásticos y extensos derrames lávicos de basalto en forma de mesetas y planicies, sobre las cuales el continuo fenómeno de vulcanismo ha acumulado materiales de relleno. Este tipo de paisaje cubre gran porcentaje del área.

Entre los cerros importantes en el área se localizan los cerros: Encino Macho, El Frontón, El Tecolote y Pardo.

## **4. GEOLOGÍA**

La geología del acuífero Valle de Cadereyta quedó definida por una secuencia estratigráfica constituida por rocas carbonatadas del Jurásico Superior y del Cretácico, rocas ígneas extrusivas e intrusivas del Terciario y Cuaternario, y depósitos continentales (figura 2).

### **4.1 Estratigrafía**

#### **SISTEMA JURÁSICO**

Rocas clásticas de origen volcánico; estas rocas denominadas San Juan de La Rosa o Chilar afloran al poniente de San Javier (Las Tuzas) localizado en las cercanías del límite noreste de la zona. Son areniscas, areniscas conglomeráticas, conglomerados y algunos estratos de limolitas.

Rocas metamórficas (esquistos) se pueden apreciar en un área cercana a la zona, al noreste del poblado de Bernal. Esta secuencia puede ser parte de la Formación Las Trancas o ser la secuencia superior de la Formación San Juan de la Rosa.

#### **SISTEMA CRETÁCICO**

##### **Formación Peña Azul**

Esta unidad está expuesta al este del poblado de Bernal y oeste de San Javier (Las Tuzas), está constituida por calizas en capas medianas y gruesas. De acuerdo a su posición estratigráfica se le asigna una edad que va del Barremiano correspondiente al Cretácico inferior al Cenomaniano del Cretácico Medio.

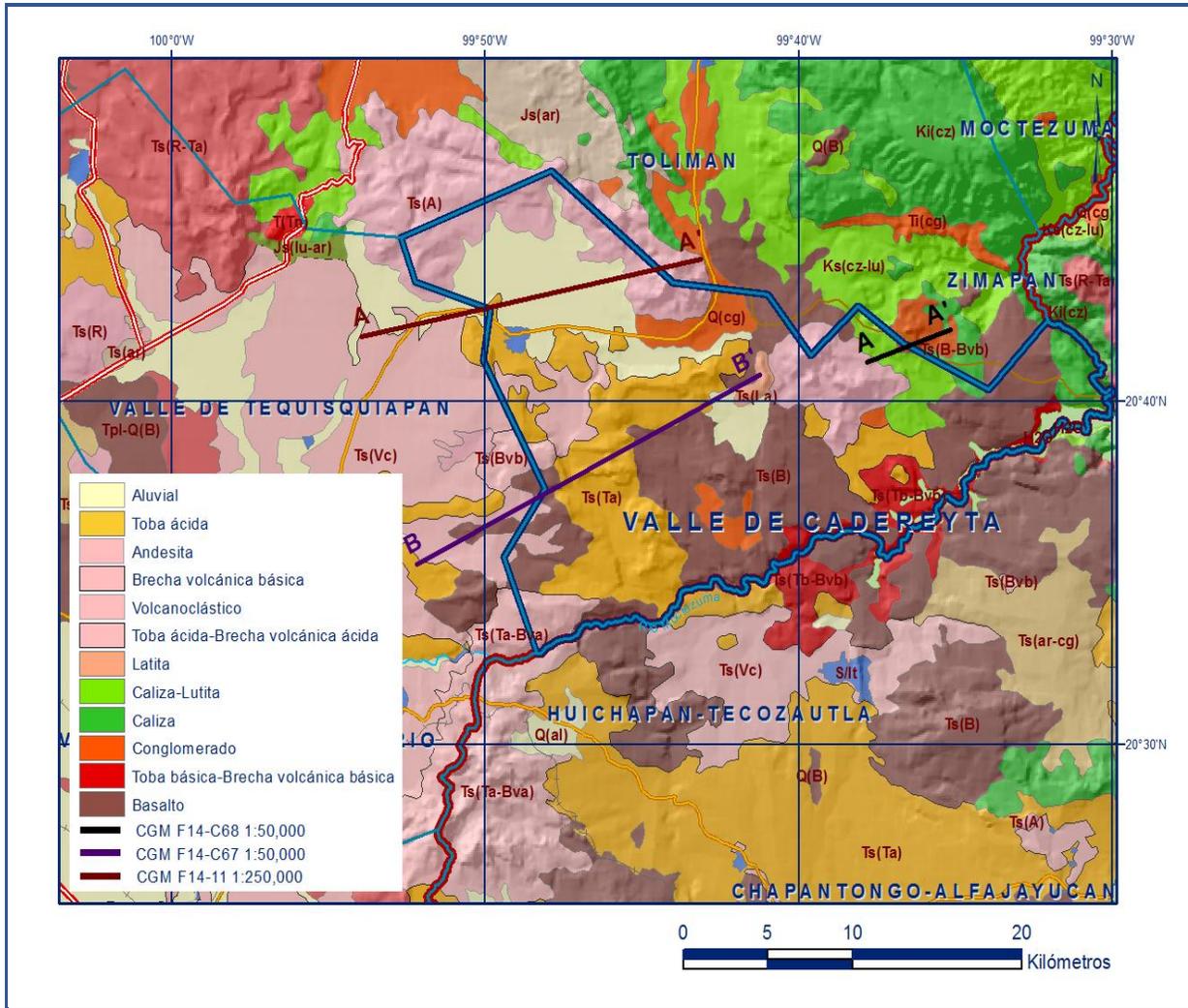


Figura 2. Mapa de geología general.

### Formación Soyatal

Aflora al suroeste de San Javier (Las Tuzas), es una alternancia rítmica de estratos delgados (5 a 15 cm) de caliza de color gris oscuro, con estratos delgados de lutitas calcáreas de color negro que intemperizan a colores que varían de pardo amarillento a verdoso.

Es posible correlacionarla con las unidades calcáreas de la provincia de Juriquilla. De acuerdo a su posición estratigráfica se le asigna una edad del Turoniano el cual pertenece al Cretácico Superior. Estas rocas carbonatadas se encuentran afectadas por la orogenia denominada revolución Laramide y la fase tectónica subsiguiente.

## **SISTEMA Terciario**

### **Unidad volcánica 1**

Esta unidad presenta afloramientos aislados que conforman los cerros Las Cenizas, La Caja y El Encino. Es una secuencia piroclástica, principalmente de tobas líticas pseudoestratificadas en las que se aprecian líticas angulosas. Se encuentran tobas de color blanco, de aspecto terroso y grano muy fino que intemperizan a un tono verde.

En esta unidad también se observan materiales subangulosos de rocas volcánicas en matriz de ceniza de color blanco, así como rocas riolíticas color rosa muy intemperizadas. Asimismo, es posible encontrar un aglomerado volcánico con clastos subredondeados y tobas color rosa (ceniza) con cristales diseminados de cuarzo y biotita, así como vidrio color verde.

### **Unidad volcánica 2**

Se encuentra formando manchones entre los poblados de Zituni, Cadereyta, Los Tabares, y Potreritos entre otros. Son rocas de color rojizo a blanco que intemperizan a tonos más oscuros.

### **Andesitas**

Un afloramiento se observa constituyendo el cerro Las Adjuntas, en contacto con las rocas ácidas del cerro Las Cenizas y la Caja. La unidad cubre la formación ácida de la unidad volcánica 1.

### **Formación Tarango**

En la zona se encuentra distribuida en el área de Boxasni y Ezequiel Montes.

Miembro basáltico. Representa las secuencias lávicas que conforman algunos depósitos al sureste de Ezequiel Montes aproximadamente a 2 y 4 kilómetros. Los basaltos por lo general son vesiculares. Miembro de Conglomerados con derrames. Como su nombre lo indica este miembro está constituido por una intercalación de derrames basálticos con estratos lenticulares de conglomerado con matriz arenosa y cementante de carbonatos. Se encuentran en la cercanía de la zona en la parte sur oriental del poblado de Ezequiel Montes y al norte y occidente de Villa Progreso.

Miembro Cinerítico. Este miembro consiste de piroclásticos de composición basáltica del tamaño de lapilli y ceniza, acumulados alrededor de un centro eruptivo.

## **SISTEMA CUATERNARIO**

### **Basaltos**

Se encuentran en las cercanías de San Javier (Las Tuzas) y conforma pequeñas mesas cubiertas por caliche. Se presenta en forma de derrames basálticos de color gris oscuro, con ligero intemperismo químico.

### **Depósitos clásticos continentales**

Los depósitos de edad cuaternaria se agrupan en una sola unidad incluyendo materiales no consolidados, cuya granulometría varía desde boleos y gravas constituidos por clastos riolíticos, andesíticos, basálticos y hasta calcáreos, que están entremezclados formando en algunos casos depósitos de talud y planicies aluviales que han sido arrastrados por corrientes fluviales cercanas. Afloran en la mayor parte del área, constituyen las planicies y los depósitos de las corrientes fluviales de los principales arroyos.

## **4.2 Geología estructural**

En el área se observan fallas normales orientadas N-S aproximadamente; éstas se encuentran emplazadas en las unidades volcánicas principalmente.

También existen algunas fallas normales de menor longitud, orientadas NE-SW aproximadamente. Se nota un paralelismo entre las fracturas y las corrientes fluviales.

En la región existe una línea de fractura principal de 30.5 km de longitud aproximadamente que une las bocas o focos volcánicos, a partir del que se encuentra localizado al suroeste del poblado de Tequisquiapan uniéndolo con el foco del cerro El Pitol, siguiendo con un tercero y cuarto correspondiendo este último al Cerro Grande, al oriente de Villa Progreso, terminando esta línea con la boca lávica del cerro Santa Cruz.

Otra línea bien definida de este tipo se presenta al oriente, con cierto paralelismo respecto de la primera; pasa por el Cerro El Tecolote y El Sombrero y tiene un rumbo NE 18° SW.

En general en la zona tuvieron lugar los acontecimientos que forman parte de los eventos tectónicos y volcánicos que originaron la estructura conocida como Eje Volcánico Transmexicano.

### **4.3 Geología del subsuelo**

De acuerdo con la información de sondeos eléctricos verticales (SEV), localizados en el valle de Cadereyta y al norte de los poblados de Arroyo Zituni y Cadereyta, se dispone de un perfil geofísico que permite describir las estructuras geohidrológicas del área investigada.

De los resultados e interpretaciones de los sondeos, en conjunción con datos litológicos del subsuelo obtenidos en un pozo de aproximadamente 240 m, el subsuelo presenta en términos generales 4 unidades (F, E, D, C) en la zona donde se localiza el valle:

La unidad más superficial (F), se encuentra en forma continua a lo largo de todo el perfil con espesor mínimo hacia la parte poniente y creciente hacia el oriente con valores que oscilan entre 3 y 95 m; se estima compuesta por pequeñas capas con diferentes valores de resistividades. Esta unidad se asocia con arcillas y gravillas y de acuerdo a la interpretación geofísica carece de interés geohidrológico.

Subyaciendo a la unidad anterior se encuentra otra unidad denominada E, la cual presenta un espesor mayor de 20 m; hacia la parte central del valle y en forma local su espesor es muy grande e indefinido. Esta unidad que se asocia con boleos, basaltos y tobas riolíticas no se detectó en la parte oriental del valle.

Otra unidad denominada D, que se presenta bajo el valle de la zona, se encuentra en forma discontinua hacia el centro de dicho valle, de tal manera que hacia el poniente se encuentra bajo la unidad E, y en la zona oriental se detecta debajo de la unidad F.

La unidad D presenta espesores variables, los cuales llegan a ser de más de 150 m. Esta unidad se asocia a boleos de andesitas, andesitas, escoria volcánica, tobas y arenas arcillosas; en ella se encuentran las aguas subterráneas y que presentan niveles estáticos del orden de 190 m de profundidad.

Debajo de la unidad anterior se detectó la unidad C, de espesores variables y detectada debajo de los 1800 msnm, conviene señalar que el nivel topográfico del valle es del orden de 2040 msnm. La unidad C se relaciona con las calizas del sistema Cretácico. La discontinuidad mencionada anteriormente hace suponer la existencia de una falla geológica ubicada hacia el centro del valle.

De acuerdo a lo anterior, el acuífero propiamente se encuentra debajo de la zona de valle a profundidades del orden de 180 m con espesores variables; constituido generalmente por la unidad D. Hacia el centro de este valle su espesor es muy grande de forma que no se llegó a detectar otro contacto debajo de él.

Las partes que circundan al valle, en la zona norte, se encuentran constituidas por materiales de rocas volcánicas de permeabilidad reducida pero que por fracturamiento de las mismas llegan a permitir la infiltración de agua de lluvia para alimentar al acuífero.

Hacia el sureste de las poblaciones de Cadereyta y Los Tabares el relleno aluvial es limitado por la Formación Tarango, la cual se considera de buenas posibilidades acuíferas,. Sin embargo, esta unidad se encuentra limitada hacia el este y sureste por rocas volcánicas del Terciario, que aunado a su baja permeabilidad y a la fuerte pendiente del terreno, hace que el agua escurra hacia el río San Juan.

Debajo de las rocas volcánicas antes mencionadas y que en las partes altas alimentan al acuífero del valle de Cadereyta se tienen materiales del sistema Cretácico, las cuales pueden en parte ser consideradas como el basamento del acuífero.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de acuífero**

De acuerdo a la división de unidades hidrogeológicas definidas en el estudio geohidrológico de factibilidad, se determinaron tres unidades con características hidráulicas y litológicas contrastantes.

Las unidades hidrogeológicas corresponden a las siguientes:

- Relleno aluvial y lacustre
- Andesita fracturada
- Depósitos arcillo-limosos con presencia de gravas y gravillas.

La primera y tercera unidades corresponden a zonas acuíferas en medios granulares.

La unidad de relleno aluvial y lacustre en el área se presenta después del suelo vegetal y hasta profundidades del orden de 70 m. El material que lo constituye es como sigue:

Material lacustre formado por limos, se encuentran también gravas, gravillas y boleos empacados en material arcilloso; los boleos son fragmentos de andesitas y riolitas, existen además materiales que corresponden a tobas lacustres de pómez, y se encuentran algunos horizontes formados por escoria volcánica como tezontle y material arenoso de grano medio a fino. Esta unidad es permeable y puede constituir un acuífero si el nivel de saturación es somero y se almacena agua en un espesor significativo.

Los depósitos arcillo-arenosos se localizan debajo de la andesita fracturada que constituye el medio fracturado; estos depósitos arcillo-arenosos se localizan aproximadamente a una profundidad promedio de 215 m, su límite inferior no ha sido atravesado pero los sondeos eléctricos indican que es mayor a 300 m de profundidad.

Esta unidad presenta baja resistividad, se asocia con depósitos granulares como arcillas y limos con gravas y arenas probablemente saturados, pero de escasa permeabilidad.

El medio fracturado, constituido por la unidad de andesitas fracturadas, subyace a la primera unidad y se encuentra a una profundidad promedio de aproximadamente 170 m, su límite inferior se localiza a una profundidad del orden de 210 m. Esta es la unidad productora principal del acuífero, ya que por fracturamiento los pozos captan caudales apreciables de agua en esta unidad.

En su conjunto el acuífero constituido por los depósitos clásticos y las rocas volcánicas fracturadas se comporta como un acuífero semiconfinado.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

De la información disponible para este acuífero, se observa que en la porción del valle debido a la profundidad de los niveles estáticos que son del orden de 180 m, y por los órdenes de magnitud de los caudales de los pozos que llegan a ser de 15 lps en promedio, se considera que el acuífero en esta área no es muy favorable para la explotación de aguas subterráneas.

Actualmente no se dispone de información de los parámetros hidráulicos del acuífero Valle de Cadereyta, relativos a la conductividad hidráulica, transmisividad y coeficientes de almacenamiento; por lo anterior y a efecto de determinar el rendimiento que puede ofrecer el acuífero, a continuación se indican los valores de capacidad específica prevalecientes en el área del acuífero.

De los datos de los niveles de agua subterránea obtenidos durante el estudio de 1980 se observa que el pozo No. 766 ubicado en la zona norte del poblado de Cadereyta presentaba un nivel estático de 179.6 m y un nivel dinámico de 191 m bajo una extracción del orden de 18.5 lps, lo cual ofrece una capacidad específica del orden de 1.6 lps/m.

Por otro lado, si se toman en cuenta los datos del pozo No. 814, localizado en la parte oeste de la población de Ezequiel Montes, el cual presenta un nivel estático del orden de 106 m, y un nivel dinámico de 130 m ocasionado por la extracción de un caudal de 9.0 lps, se obtiene en esa área del acuífero una capacidad específica del orden de 0.37 lps/m. Considerando que las formaciones geológicas son similares y que la topografía es más baja hacia Ezequiel Montes respecto a la zona de Cadereyta, se puede estimar que el acuífero en la parte de valle presenta un valor semejante a la capacidad específica antes indicada, es decir valores cercanos a 1 lps/m.

Si se considera que el caudal específico es directamente proporcional a la transmisividad, entonces la baja capacidad específica refleja una baja transmisividad en este acuífero. Considerando que los valores de capacidad específica de 1.6 lps/m y 0.37 lps/m son valores bajos, se deduce que el acuífero es de bajo rendimiento.

### **5.3 Piezometría**

La zona del acuífero de valle de Cadereyta cuenta con poca información piezométrica, perteneciente a los años 1980 y 1990.

### **5.4 Comportamiento hidráulico**

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

De acuerdo con la información disponible del acuífero Valle de Cadereyta, las profundidades de sus niveles estáticos reportados en el año de 1990 llegaban a ser del orden de 180 m en la parte noroeste de la zona, básicamente al norte del poblado de Cadereyta.

#### **5.4.2 Elevación del nivel estático**

Debido a que la zona donde se encuentra el acuífero Valle de Cadereyta se ubica en un área con elevaciones topográficas mayores a las de su acuífero vecino denominado Valle de Tequisquiapan, es muy probable que las aguas subterráneas recarguen por flujo subterráneo al acuífero del valle de Tequisquiapan a través de los materiales que constituyen los límites de los mismos.

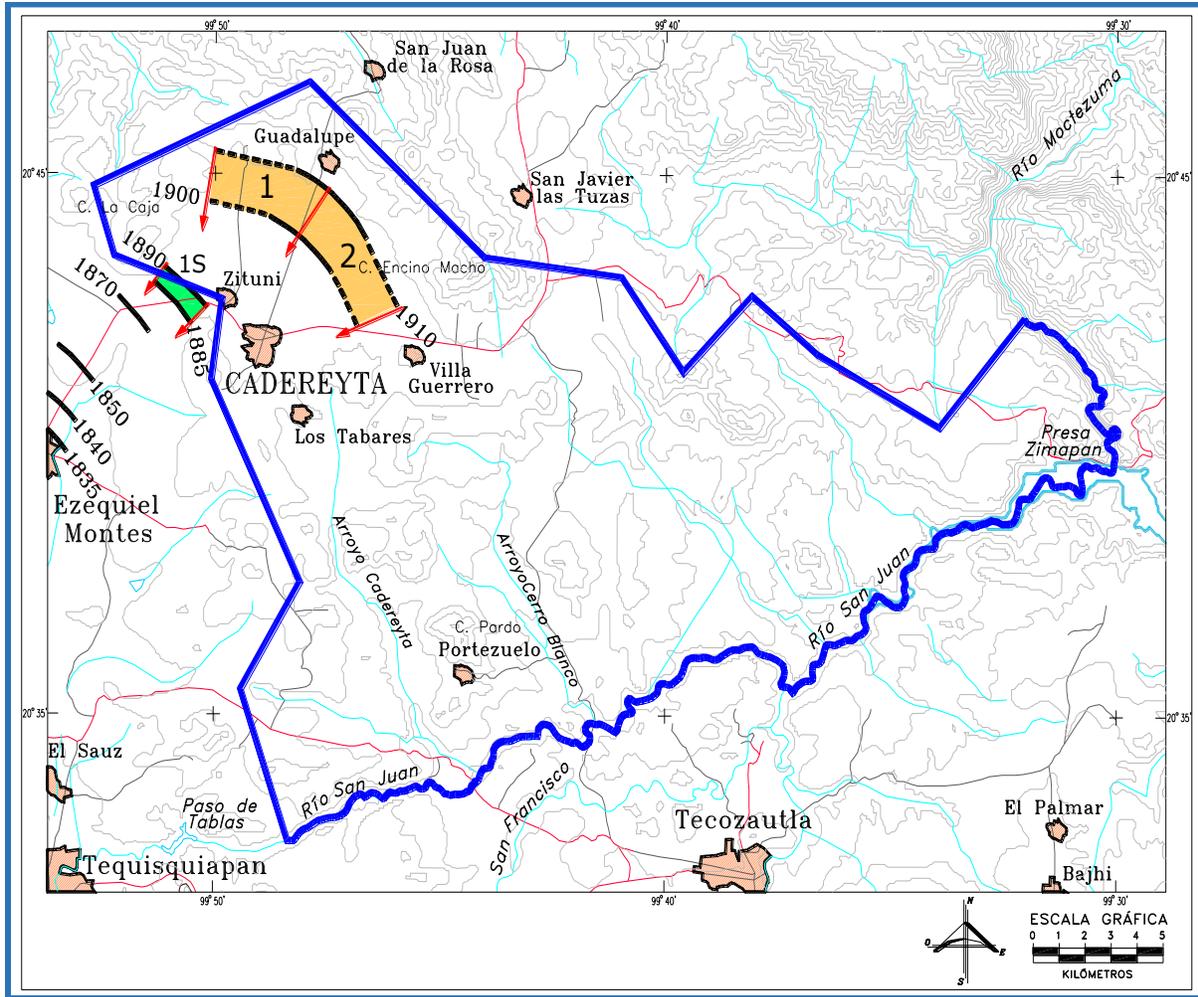


Figura 3. Elevación del nivel estático año 1990 (msnm).

La interdependencia con el acuífero del valle de Tequisquiapan queda de manifiesto al observar la configuración de los niveles estáticos de esa región (figura 3).

### 5.4.3 Evolución del nivel estático

De información resultante del censo de aprovechamientos realizado en el año de 1980, se observa que al norte del poblado de Cadereyta los niveles estáticos eran del orden de 180 m, como los observados en los pozos denominados 766 y 728, los cuales tenían profundidades totales de 225 m y 215 m.

Si estos valores se comparan con los señalados con los del año 1990 (en las inmediaciones de los pozos antes mencionados) se observa no se tienen indicios de abatimiento significativo del nivel estático para este periodo.

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

No se tiene noticia de una mala calidad del agua subterránea alumbrada en la zona del acuífero, por lo que podría aceptarse ser semejante a la del acuífero vecino de Tequisquiapan, donde es de buena calidad con valores de 200 a 300 ppm de sólidos totales disueltos.

Valores semejantes son reportados en la zona norte del valle de Cadereyta y cercanías de los poblados Agua Fría y La Bandera en el estudio de servicios de prospección. En cuanto a la familia de aguas, el estudio indica que pertenecen a la cálcica bicarbonatada y magnésico bicarbonatada, no existiendo restricción para el uso agrícola; en cuanto al uso para consumo de agua potable se considera buena y apta.

Algo semejante se puede decir acerca de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que se ha clasificado en forma genérica como mediana, dadas las condiciones y características de ambos acuíferos.

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

Con base en el estudio realizado para el gobierno del estado de Querétaro, se tiene determinado que el acuífero Valle de Cadereyta está explotado a través de 8 aprovechamientos subterráneos.

Las aguas extraídas a través de dichos aprovechamientos son destinadas al uso público urbano; el volumen anual extraído es del orden de 3.9 hm<sup>3</sup>/año. Este último valor es semejante a los 4.0 hm<sup>3</sup>/año reportados en la publicación Estadísticas del Agua en México.

De acuerdo al censo de aprovechamientos subterráneos realizado en 1980 en la zona de Cadereyta-Jalpan, se observó que éstos eran muy escasos, habiéndose censado en parte del área correspondiente al acuífero Valle de Cadereyta sólo 3 pozos y un sondeo ubicado en la localidad de La Nopalera, con profundidad de 240.2 m. De los tres pozos, uno se encontraba en proceso y los otros dos eran para suministro de agua potable, operando con caudales de 16.0 lps y 18.5 lps. Cabe señalar que las profundidades totales de los pozos, incluyendo al que se encontraba en proceso, eran del orden de 215 m a 292 m, con profundidades al nivel estático del orden de 180 m; lo anterior indica que para ese año la zona tendía a contar con pocos aprovechamientos, los cuales extraían aguas profundas.

Dentro del área, hacia los límites con el estado de Hidalgo, y en el flanco izquierdo del cauce del Río San Juan, antes de la Presa Zimapán, se sabe de la existencia de manantiales importantes.

## **7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

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 anualmente por el almacenamiento del acuífero.

El balance en este documento se realizó en forma anualizada, considerando para las extracciones del año 1998 y para el cálculo de entradas y salidas por flujo horizontal subterráneo se utilizó la información del año de 1990, la cual puede ser representativa del año 1998, debido a que no existen variaciones de los niveles estáticos como se comentó.

La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots (1)$$

Aplicando esta ecuación al 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 de un acuífero.

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento} \dots (2)$$

### **7.1 Entradas**

Las entradas al acuífero Valle de Cadereyta están integradas básicamente por recargas naturales y recargas inducidas.

#### **7.1.1 Recarga natural**

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de la recarga por flujo horizontal subterráneo proveniente de las zonas de pie de monte, localizadas al norte del área.

La recarga natural por lluvia, que se presenta en el área de las partes bajas, es del orden 2.5 hm<sup>3</sup>/año, obtenida en un área de aproximadamente 120 km<sup>2</sup>, donde la lámina promedio de lluvia es de 500 mm y al considerar un valor de 0.0415 de coeficiente de infiltración.

El orden de magnitud del coeficiente de infiltración por lluvia se obtuvo través de un balance de agua superficial, para el cual se aplicó la siguiente expresión:

$$\text{Infiltración} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{escurrimiento}$$

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la fórmula de Turc, que indica:

$$\text{ETR} = \frac{P}{\sqrt{0.90 + (P / L)^2}}$$

Donde:

P = Precipitación en mm

L = 300+25\*T+0.05\*T<sup>3</sup>

T = Temperatura en °C

En nuestro caso la precipitación promedio anual, de toda el área del acuífero, es de 574.0 mm/año, promedio calculado al considerar 500 mm en área de valle y de 600 mm en el resto del área, de acuerdo a lo anterior el volumen anual precipitado es del orden de 265.2 hm<sup>3</sup>/año.

La temperatura promedio anual es de 16° C, valores que una vez sustituidos en la ecuación anterior, dan un valor de evapotranspiración real de 503.0 mm, que multiplicado por el área de 462 km<sup>2</sup> da un volumen total evapotranspirado de 232.4 hm<sup>3</sup>/año.

Para estimar el volumen de escurrimiento anual, se utilizó el coeficiente de escurrimiento Ce, que está en función del tipo y uso de suelo dado por un valor de K, y del volumen de precipitación anual del área.

En nuestro caso se calculó un valor de  $C_e = 0.082$  al considerar un valor de  $K = 0.22$  (valor representativo de suelos medianamente permeables y un uso de suelo tipo pastizal, cubierto de tal forma que tiende de regular a menos del 50%).

De acuerdo a lo anterior, el volumen escurrido fue de  $21.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ , obtenido de multiplicar el coeficiente anterior por el área de  $462 \text{ km}^2$  y por una precipitación promedio anual de  $574.0 \text{ mm/año}$ .

Sustituyendo valores en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 265.2 - 232.4 - 21.8 = 11.0 \text{ hm}^3/\text{año}$$

Al dividir el volumen anual promedio infiltrado entre el volumen anual promedio precipitado, que en nuestro caso es de  $265.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ , se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta del orden de  $0.0415$

### **7.1.2 Recarga inducida**

La recarga inducida está constituida principalmente por la infiltración vertical debida a los volúmenes de agua provenientes de fugas de los sistemas del servicio público urbano, y que al considerar un coeficiente de  $0.23$ , el volumen total por recarga inducida es del orden de  $0.9 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

### **7.1.3 Entradas por flujo subterráneo horizontal**

Parte de las precipitaciones que se presentan en las zonas altas del área y que se logran infiltrar en ellas, así como flujos de aguas subterráneas provenientes de la zona norte llegan a recargar al acuífero manifestándose en las partes bajas del área a través de flujos subterráneos.

La Figura No. 3 muestra la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático en la cual se puede observar cómo se manifiestan los flujos subterráneos horizontales. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo, donde se aplicó la ley de Darcy para calcular el caudal "Q" que recarga al acuífero.

La recarga total por flujo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales establecidos. En la tabla 2 se pueden observar los valores obtenidos en cada celda y el volumen total de  $0.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Tabla 2. Entradas de agua subterránea por flujo horizontal.

CELDA	ANCHO	LARGO	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD (T)	CAUDAL (Q)	VOLUMEN
	(m)	(m)		(i)	m <sup>2</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
1	4050.0	1800.0	10	0.00556	0.0005	0.0113	0.35
2	4250.0	1700.0	10	0.00588	0.0005	0.0125	0.39
						Total	0.7

$$Q = T * B * i$$

Donde

T: Transmisividad (m<sup>2</sup>/s) en el canal de flujo

B: Ancho (m) del canal de flujo

i: Gradiente hidráulico ( $i = h / L$ ); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

## 7.2 Salidas

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo y por flujo horizontal subterráneo.

### 7.2.1 Evapotranspiración

En el área no se presenta evapotranspiración debido a que los niveles estáticos del acuífero son muy profundos, del orden de 180 m

### 7.2.2 Descarga natural

Para el caso del acuífero Valle de Cadereyta las descargas naturales están representadas por el flujo subterráneo horizontal que sale de la región básicamente hacia el acuífero Valle de Tequisquiapan.

De los manantiales más importantes que existen en la zona, localizados en las inmediaciones del Río San Juan y hacia la Presa Zimapán, se tiene conocimiento que dos de ellos llegan a quedar integrados con las aguas del río San Juan.

Eso sucede cuando el tirante de este río se incrementa en épocas de lluvias y posteriores a ellas afloran a una elevación del orden de 1600 msnm.

Se considera que el volumen que ofrecen esos manantiales corresponde en parte a las infiltraciones de agua que se llegan a infiltrar en zonas ubicadas al norte de ellos.

Además tiene poca influencia con la explotación que se realiza tanto en el área del valle (2100 msnm) como en las áreas de explotación favorable.

Para el caso de balance no se toman en cuenta.

### 7.2.3 Bombeo

De acuerdo con la información presentada en la publicación Problemática del aprovechamiento y disponibilidad del agua en el estado de Querétaro, 1998, la descarga total del acuífero por bombeo es del orden de 3.9 hm<sup>3</sup>/año.

### 7.2.4 Salidas por flujo subterráneo horizontal

Las descargas por flujo horizontal de aguas subterráneas se presentan básicamente en una pequeña porción del área, localizada al noroeste del poblado de Cadereyta y hacia el acuífero de Tequisquiapan. Al aplicar la fórmula expuesta ( $Q = T * B * i$ ), se obtuvo un valor del orden de 0.2 hm<sup>3</sup>/año, como se muestra en la Tabla No. 3

Tabla No. 3. Salidas de agua subterránea por flujo horizontal

CELDA	ANCHO	LARGO	h1-h2 (m)	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD (T)	CAUDAL	VOLUMEN
	(m)	(m)		(i)	m <sup>2</sup> /s	(Q) m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /año
1	2100.0	676.0	5	0.00740	0.0005	0.0078	0.2
						Total	0.2

### 7.3 Cambio de almacenamiento

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 4.1 hm<sup>3</sup>/año, y una descarga total de 4.1 hm<sup>3</sup>/año, por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero Valle de Cadereyta es de 0.0 hm<sup>3</sup>/año (Millones de metros cúbicos anuales). Los valores del balance de aguas subterráneas se presentan en la tabla 4.

Tabla No. 4. Balance de aguas subterráneas

<b>Área total del acuífero</b>				km <sup>2</sup>	<b>462</b>
<b>RECARGA</b>					
<b>Área de valle</b>				km <sup>2</sup>	120.0
<b>Coefficiente</b>				$i_1$	0.041
<b>Precipitación</b>				mm/año	500
<b>Recarga natural por lluvia</b>				hm <sup>3</sup> /año	<b>2.5</b>

<b>Entradas horizontales</b>		Eh	hm <sup>3</sup> /año	<b>0.7</b>
<b>Total de recarga natural</b>			hm <sup>3</sup> /año	3.2
	<b>Público Urbano</b>	l <sub>2</sub>		0.2
<b>Retorno del uso Público Urbano</b>			hm <sup>3</sup> /año	<b>0.9</b>
	<b>Agrícola más otros</b>	l <sub>3</sub>		0.25
<b>Retorno de riego, agua subterránea</b>			hm <sup>3</sup> /año	<b>0.0</b>
<b>Retorno de riego con aguas superficiales</b>				
<b>Retorno total de aguas subterráneas</b>				<b>0.9</b>
<b>ENTRADAS TOTAL</b>		Rt	hm <sup>3</sup> /año	<b>4.1</b>
<b>DESCARGA</b>				
<b>Salidas horizontales</b>		Sh	hm <sup>3</sup> /año	0.2
<b>Caudal base</b>		Q <sub>base</sub>	hm <sup>3</sup> /año	0.0
<b>Evapotranspiración</b>			hm <sup>3</sup> /año	0
<b>Manantiales</b>			hm <sup>3</sup> /año	0
	Extracción total bruta (incluye 0.83 hm <sup>3</sup> /año de manantiales)		hm <sup>3</sup> /año	<b>3.9</b>
	Agrícola		hm <sup>3</sup> /año	0.00
	Público urbano		hm <sup>3</sup> /año	3.9
	Industrial		hm <sup>3</sup> /año	0.00
	Otros		hm <sup>3</sup> /año	0.00
<b>DESCARGA TOTAL</b>			hm <sup>3</sup> /año	<b>4.1</b>
<b>Minado</b>		DA	hm <sup>3</sup> /año	<b>0.00</b>
<b>Coeficiente de almacenamiento</b>		S		0.010
<b>Volumen drenado (m/año)</b>		Vd	hm <sup>3</sup> /año	0.00
<b>Abatimiento m/año</b>			m	0.00

## 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:

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

Donde:

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

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### 8.1 Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero. Para este caso, su valor es de **4.1 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2 Descarga natural comprometida (DNC)

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

Para este caso, su valor es de **0.0 hm<sup>3</sup> 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 **3,658,996 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

#### **8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)**

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

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

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 4.1 - 0.0 - 3.658996 \\ \text{DMA} &= 0.441004 \text{ hm}^3/\text{año.} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **441,004 m<sup>3</sup> anuales**.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Administración del Agua, México 1994. Manual para Evaluar Recursos Hidráulicos Subterráneos.

Diario Oficial de la Federación 17 de abril de 2002. NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.