

2 Marco hidrológico, geológico, hidrogeológico y geotécnico del acuífero

2.1. Situación global del recurso hídrico en el estado de Querétaro

En México, el estado de Querétaro fue el pionero, que con recursos propios, evaluó la situación del agua en su territorio, marcando una línea a nivel federal, al plantear la metodología que debía llevarse a cabo para administrar el recurso, sobreponiéndose en su momento a la instancia rectora. Históricamente ha jugado un papel muy importante y trascendente en la toma de decisiones para México.

El AVQ inició su monitoreo, a través de la extinta Gerencia de Zonas Áridas de la Secretaría de Recursos Hidráulicos en la década de los 60; se hizo más intensivo de 1970 a 1980. En 1988, el gobierno del estado de Querétaro a través de la instancia que administraba el recurso en el municipio de Querétaro, inició la adquisición de datos e información de la situación que guardaba el agua. En 1990 se enfocó a evaluar el AVQ, proponiendo acciones que permitirían sustentar el desarrollo socioeconómico de la capital del estado y plantear escenarios sobre el manejo integral del recurso; se llegó a realizar un modelo de optimización y decisión económica, donde se plantearon diferentes escenarios con base en las necesidades de la ciudad. Uno de los escenarios, el más desfavorable, planteó que en el año 2003 la infraestructura hidráulica para el abastecimiento de agua se colapsaría; escenario que se cumplió y se tuvo la necesidad de realizar nuevas perforaciones a mayor profundidad, reubicar pozos y buscar fuentes externas para el abastecimiento de agua para la ciudad como la importación de agua del río Extoraz o bien de la zona de El Batán en el municipio de San Juan del Río. Además, en 1993 se planteó un programa de uso eficiente de consumo de agua para riego, que en su primera etapa tuvo el éxito esperado, reducir un 40% la extracción de agua en el valle de Chichimequillas y Pedro Escobedo y aprovechar parte para conducirla a la ciudad de Querétaro, pero por la falta de cultura, el utilizar el agua para otros fines o ampliar la superficie de riego, el proyecto se canceló y continuó la explotación intensiva de los acuíferos.

La ubicación estratégica de la ciudad capital al estar cerca de la ciudad de México, así como la visión de planeadores, sin el conocimiento integral que guarda el acuífero, ha favorecido un crecimiento poblacional desordenado, al hallarse industrias importantes, que generan recursos económicos para el estado en el hoy llamado corredor industrial San Juan del Río – Querétaro, así como la creación de nuevos desarrollos habitacionales en las zonas consideradas en su momento como de recarga, los cuales consumen y demandan agua en cantidades crecientes, así como la infraestructura adicional para transportarla a las zonas altas del valle, situación que provoca, entre otras, la reducción de las zonas de infiltración natural e incremento del escurrimiento, lo que se traduce en un reducción de la recarga al acuífero.

Si bien, en la década de los 80 y 90 la actividad principal en el territorio del AVQ era la agricultura, que también consumía el mayor volumen tanto de agua superficial como subterránea, al operar los pozos del orden de los 180 a 270 días por año. Hoy en día,

muchos de estos pozos operan los 365 días del año para abastecer tanto a las industrias como a los complejos habitacionales que se han tenido que construir para dar cabida a las nuevas fuentes de trabajo que se han generado. Esto ha ocasionado una aceleración en el abatimiento del acuífero, que desde el punto de vista económico tiene un espesor cuantificado, tanto por la perforación de los pozos como por estudios geológicos y geofísicos. Asimismo, la tecnología actual para la extracción de agua del subsuelo se limita a los 400 m de profundidad.

El conocimiento hidrogeológico que se tiene del AVQ en la zona saturada es:

- La profundidad económicamente explotable del acuífero; con base en los estudios geofísicos realizados, se tiene identificado que es del orden de los 400 a 500 m.
- La velocidad de abatimiento de los niveles de agua subterránea que oscila entre 3 y 10 m por año.
- El origen de las rocas que almacenan el agua es volcánico, aunque en algunas zonas muy puntuales se han encontrado rocas sedimentarias (norte del poblado del Nabo), con una productividad nula.
- Los gastos de los pozos oscilan entre los 5 y 30 lps; se tienen identificadas las zonas de mayor y menor productividad.
- Por estudios geofísicos y perforaciones superiores a los 500 m se ha identificado una unidad asociada a material granular, sin clasificación e identificación petrográfica, subyaciendo a las rocas volcánicas de tipo basalto, andesita y tobas ignimbríticas; en algunos sitios producen caudales de medios a bajos (<15 lps) y en otros manifiestan termalismo, situación que puede presentar presencia de contaminantes naturales, como flúor.
- Se identifican las zonas vulnerables a la contaminación del agua subterránea, producto de la inducción de agua superficial al subsuelo a través de fallas activas que se han generado producto de efectos asociados a la explotación intensiva, compactación de suelos y activación de fallas geológicas.
- Se tienen identificados los intervalos de roca que aportan agua.
- Se cuenta con dos modelos matemáticos de flujo hidráulico subterráneo desarrollados con el *software Visual Modflow*, uno para la CEA y otro para CONAGUA.
- Se tienen definidas las zonas alternas para el abastecimiento de agua para la ciudad de Querétaro, como es el agua superficial proveniente del río Extoraz o bien la zona de El Batán.
- Se cuenta con infraestructura hidráulica de conducción para satisfacer a la población.
- Se tienen localizados los sitios que presentan problemas de inundación ante eventos climatológicos extraordinarios.

Para el planteamiento de este trabajo es necesario dar un tratamiento a la información que se tiene, enfocado a la zona drenada, para definir si tiene la capacidad para almacenar o transmitir el agua superficial o residual, si se ha compactado, ubicar las zonas donde actualmente se concentra el agua de lluvia y conocer la situación que se presenta en las zonas de cambio de pendiente topográfica.

2.2. Evolución de la administración del agua en el estado de Querétaro

Hasta el año 1992, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos era la responsable de la administración del agua; hoy la CONAGUA es la responsable de normar el uso y manejo del agua.

De 1990 a 1996 el organismo operador de agua en el estado de Querétaro, inicia una serie de estudios encaminados a evaluar el recurso y tratar de llegar a su manejo integral, realiza estudios en el valle de Querétaro y con base en los resultados de la evaluación hidrogeológica se fue extendiendo la adquisición de datos y conocimiento hacia los valles de San Juan del Río – Pedro Escobedo, ciudad de San Juan del Río, Tequisquiapan – Ezequiel Montes, Chichimequillas, Huimilpan – El Milagro y Amealco. En todos estos acuíferos a excepción de Huimilpan y Amealco cuentan con al menos un modelo matemático de flujo hidráulico subterráneo.

De 1996 a la fecha la misma Comisión Estatal de Aguas de Querétaro continúa con un monitoreo mínimo de los acuíferos, sólo de los pozos que administra, y realiza perforaciones de pozos tanto en la capital del estado como en las comunidades que requieren del agua, para recuperar o incrementar volúmenes.

En 1999 la Comisión Nacional del Agua, realizó un estudio de integración y modelación del AVQ, así como del acuífero de San Juan del Río que fue la base para definir la disponibilidad del recurso hidráulico subterráneo, publicada en el Diario Oficial de la Federación en el año 2003.

De 1999 a la fecha diferentes empresas como inmobiliarias han realizado estudios de factibilidad hidrogeológica y perforando pozos para satisfacer sus demandas. Asimismo, algunos agricultores han tenido que profundizar sus pozos ante el abatimiento de los niveles del agua subterránea y reducción de caudales. Toda la información está dispersa.

En el año 2009 la CONAGUA publica en el Diario Oficial de la Federación la actualización de la disponibilidad del agua con base en el REPDA y estudios contratados.

Todos estos estudios han sido realizados por diferentes empresas y consultoras de agua sin una normatividad que homologue la información, en lo referente a: la definición de sitios favorables para la perforación de pozos y a la perforación, aunque existe la norma NOM-003-CONAGUA-1996, la información de los resultados dichas perforaciones, no está disponible o bien no se generó. Aunado a esto no se indica dentro de la normatividad la necesidad de documentar la perforación. Esta situación ha ocasionado que se desconozca la descripción litológica detallada del subsuelo de la zona drenada y acuífero.

En cuanto a la disponibilidad también existe la norma NOM-011-CONAGUA-2000, la cual es la base para la cuantificación de los acuíferos.

Existen dos normas asociadas a la infiltración, la NOM-014-CONAGUA-2007 que plantea los requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada y está orientada a regular el uso del agua residual, considerando al suelo y subsuelo como planta de tratamiento natural, que puede ser aprovechada con una combinación adecuada de retratamiento-tratamiento natural-pos tratamiento, compatible con el método de recarga y con el uso que se le pretenda dar al agua recuperada, estableciendo los requisitos que se deben cumplir en cuanto a la calidad, operación y monitoreo.

En cuanto a la segunda norma, NOM-015-CNA-2007, se orienta a la protección de la calidad del agua de los acuíferos y al aprovechamiento del agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.

Integrando estas dos normas se tienen los elementos normativos para darle el tratamiento y generar acciones tanto de las aguas producto del escurrimiento, como de las aguas residuales, específicamente de los sectores público-urbano e industrial.

En la **Figura 2.1** se expresan las vertientes que ha tenido la administración del agua en el estado de Querétaro, intentando a partir de 1990 llegar a su manejo integral; sin embargo, no existe una instancia que tome la responsabilidad, a pesar de existir los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS), grupo de trabajo dedicado a llevar el monitoreo y seguimiento de las acciones que se realizan en el territorio del acuífero, mas no de toma de decisiones. Al existir una instancia concentradora de información y de toma de decisiones y un cuerpo de gobierno que lleve su seguimiento, se esperarían mejores resultados. Para ello es también necesario replantear las acciones y responsabilidades que deben realizar y cumplir. Sin embargo, en todo lo realizado a la fecha, se mencionan acciones que se deberían realizar sobre la recarga y no se hace una propuesta concreta.

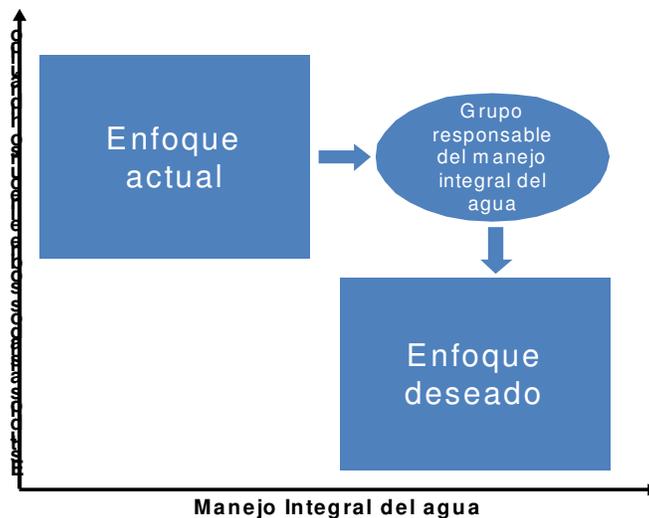


Figura 2.1. Enfoque orientado a la administración del recurso hidráulico en el estado de Querétaro

También es necesario recalcar el esfuerzo que ha hecho el estado de Querétaro al decretar el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del estado de Querétaro en abril de 2009, en el que una parte importante se enfoca a la recuperación y equilibrio del AVQ.

2.3. Acciones encaminadas a la recarga del acuífero del valle de Querétaro

Acciones

- Identificar un volumen de roca que tenga la capacidad para transmitir, conducir y en su momento almacenar el agua proveniente de la superficie.
- Conocer el volumen de agua superficial o residual susceptible para ser incorporado al subsuelo.
- Conocer la calidad del agua a infiltrar.
- Proponer acciones para el reaprovechamiento del agua.
- Monitorear las acciones y evolución de las áreas donde se lleve a cabo la infiltración o inyección de agua.
- Controlar:
 - El impacto que se presente por la explotación intensiva (movimientos diferenciales del terreno, infiltración de aguas residuales, entre otros).
 - La rehabilitación de zonas contaminadas.
 - Fuentes potenciales de contaminación.
- Proteger
 - Fuentes de abastecimiento.
 - Zonas de recarga (cauces de ríos, barrancas, zonas con rocas fracturadas, zonas con cambios de pendiente)
- Mantener actualizada la información que se genere.
- Documentar las acciones realizadas así como la información obtenida.
- Innovar metodologías para incorporar agua al subsuelo.
- Promover tecnologías para hacer uso eficiente del recurso.
- Llevar un seguimiento de los daños ocasionados a la infraestructura urbana producidos por el agua.
- Tratar las aguas residuales.

2.4. Marco geográfico del acuífero del valle de Querétaro

2.4.1. Localización

El AVQ se localiza en la parte suroccidental del estado de Querétaro, abarca el municipio de Querétaro y parte de Corregidora y El Marqués, cubriendo una extensión de 484 km². En este acuífero se asienta el 62% de la población del estado.

En la **tabla 2.1** se presentan las coordenadas de los límites territoriales y en la **Figura 2.2** se observa su localización.

Tabla 2.1. Vértices de la poligonal del AVQ (Tomado del Diario Oficial de la Federación, publicado el 6 de julio de 1998)

Vértice	Longitud	Latitud	Referencia
1	-100.2764 °	20.6083 °	Cerro Las Trojitas
2	-100.3625 °	20.5242 °	Cerro El Cimatario
3	-100.4625 °	20.4889 °	La Purísima
4	-100.5064 °	20.5312 °	Límite estatal/carretera federal 45
5	-100.5732 °	20.7309 °	Límite Querétaro-Guanajuato (Las Tetillas)
6	-100.4486 °	20.7389 °	Santa Rosa de Jáuregui
7	-100.3439 °	20.6689 °	Cerro Encinalito
1	-100.2764 °	20.6083 °	Cerro Las Trojitas



Figura 2.2. Localización y límites del AVQ (Google Earth, 2009)

2.4.2. Vías de comunicación

El territorio que cubre el acuífero se encuentra bien comunicado tanto con la capital del país como con las ciudades que se encuentran al norte y occidente, cuenta con autopistas, caminos pavimentados y de terracería, línea de ferrocarril, así como con un aeropuerto internacional, situación que le permite mantener una buena comunicación por tierra y por aire; además, cuenta con sistemas de comunicación virtual y con todos los servicios de energía eléctrica y teléfono. **Figura 2.3.**

Tabla 2.2. Consumo estimado de agua subterránea en el AVQ (*)

		Consumo estimado de agua anual (Mm ³)
Población	1,117,000 habitantes	81.542
Superficie de riego con agua de pozos	3,430 hectáreas	34.300
Industria		24.918
Total		140.760

(*) Valores estimados con base en información de INEGI, considerando un consumo diario medio de 200 litros por habitante y una columna de riego de un metro por año

Estos datos habrá que correlacionarlos con la información del Registro Público de Derechos de Agua, así como con la superficie de riego real.

2.5. Marco geológico

2.5.1. Fisiografía

El AVQ está en la provincia del Eje Neovolcánico en la subprovincia de las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, en la parte de zonas de llanuras. Ver **Figura 2.4**. Dentro de ésta se definen tres sistemas de topoformas, pequeño llano aislado, sierras y laderas tendidas con lomeríos y lomeríos con colinas.



Figura 2.4. Fisiografía del estado de Querétaro, sin escala (INEGI, 2010)

2.5.2. Geomorfología

El AVQ corresponde a un valle de forma alargada con 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 fallas escalonadas producto de esfuerzos distensivos dirigidos hacia el poniente y al oriente respectivamente, con fallas ordenadas casi simétricamente y notoriamente equidistantes con orientación NW-SE. Se identifican también fallas transcurrentes secundarias con orientación NE-SW formando un tren estructural transversal al graben de Querétaro, como un proceso extensivo.

Al tratarse de un valle, las elevaciones son muy escasas y de poca magnitud. Las pocas elevaciones que se pueden encontrar son pequeños conos cineríticos. La curva de elevación más baja presente en el área de estudio es la de 1800 msnm y se encuentran en la zona central del valle, la curva más alta es la de 2300 msnm, la cual se encuentra formando el cerro del Cimatario, éste se localiza en la parte suroriental.

A nivel regional los cambios de pendiente más significativos están dados por las fallas principales como son la Falla de Querétaro, la Falla Obrajuelo, la Falla El Tlacote y La Falla La Cañada. Estos cambios de pendientes no son muy significativos ya que la variación no es mayor a un par de decenas de metros. Este sistema de fallas corresponde al comportamiento tectónico de la zona de estudio, de fosas y pilares (horst y graben).

GUYSA (1997), realiza la caracterización geomorfológica del AVQ, la cual es una parte importante para la definición de los sitios favorables para infiltrar el agua, iniciando por la descripción de las unidades geomorfológicas de acuerdo a factores como estructura, procesos y edad. La localización de dichas unidades se observan en el mapa geomorfológico. **Figura 2.5**

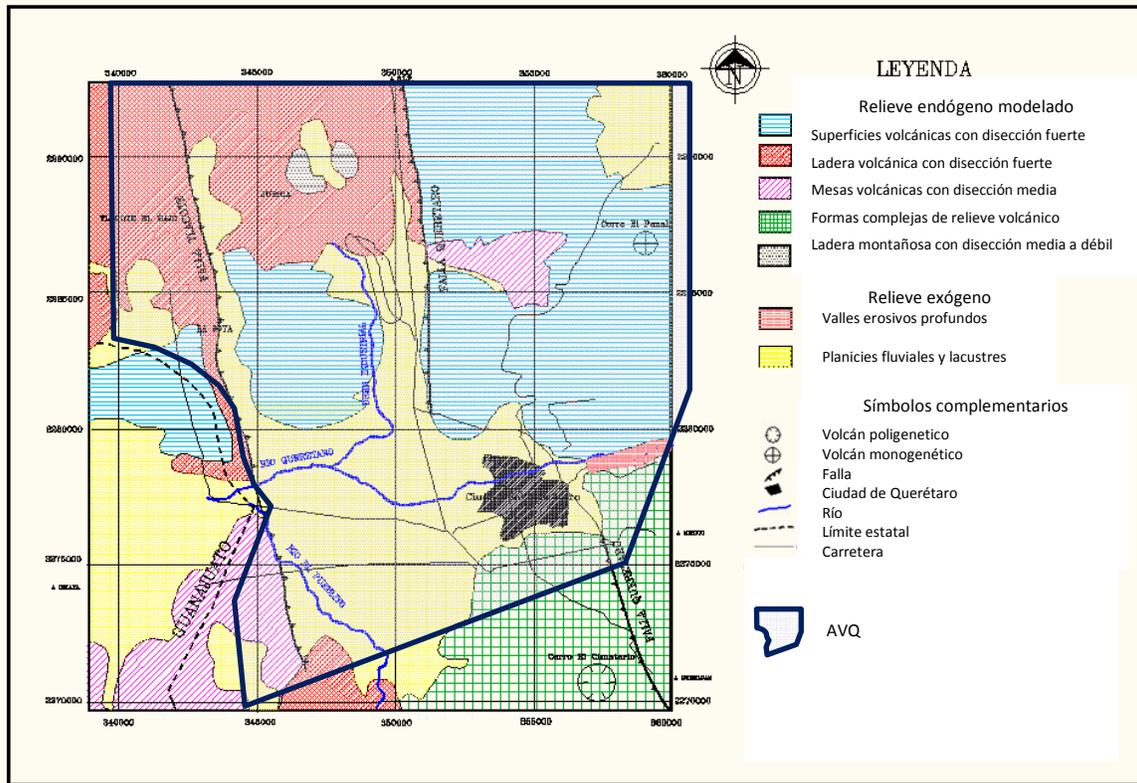


Figura 2.5. Geomorfología del AVQ (Adaptado del estudio de GUYSA, 1997)

Relieve volcánico-denudatorio. Esta clase corresponde a formas muy afectadas por la erosión y la antigüedad y puede presentarse de las siguientes formas:

- Superficies volcánicas (mesas, coladas de lava), con fuerte disección. Estas son características de eventos volcánicos intermedios, presentan estructuras tabulares, basculadas y fracturadas por la tectónica pliocuaternaria y muy erosionadas. Esto propicia que la precipitación existente se integre al sistema de agua subterránea de la zona. Se localizan en San Pedrito El Alto y Peñuelas.
- Laderas volcánicas con fuerte disección. El volcanismo ácido oligo-miocénico es representativo de este tipo de estructuras, presentan topografías muy escarpadas y una capacidad de infiltración alta, se identifican al norte en Santa Rosa de Jáuregui.
- Mesas volcánicas con disección media. Se caracterizan como derrames basálticos, localizados entre los poblados Castillo y San Miguelito, generalmente de fisura, bastante extendidos. Presentan una típica fisonomía de mesas de material básico, en sus bordes con proceso de erosión regresiva, estas características indican que se tiene una gran infiltración en estas unidades. Algunas están asociadas a fallas regionales, características de la tectónica plio-cuaternaria.
- Formas complejas de relieve volcánico-denudatorio (antigua) y volcánico-acumulativo (joven) no diferenciado. Son basaltos que se presentan en formas de mesas, en tanto que los aparatos volcánicos poligenéticos andesíticos como el cerro El Cimatario. También existen, pero en menor proporción, conos monogenéticos basálticos como el cerro El Penal.

- Relieve estructural. Esta clase corresponde a las formas originadas por una actividad endógena del tipo de los plegamientos, intrusiones y metamorfismo. Se encuentran cubiertas o flanqueadas, por los vulcanismos del Terciario y Cuaternario.
- Ladera montañosa plegada con disección de media a débil. Comprende las pequeñas zonas de caliza-lutita que se encuentran en Juriquilla. La disección media es producto del grado de fracturamiento y sus características litológicas.

Relieve exógeno. Esta clase corresponde a formas de tipo relieve denudatorio o relieve acumulativo:

- Valles erosivos profundos. Corresponden al relieve denudatorio y se caracteriza por presentar zonas de altos valores de profundidad de la disección y a densidades de medias a altas lo cual le da una capacidad de infiltración. Los factores que los controlan son: el grado de fractura de las rocas; la litología y el tiempo de exposición a los agentes exógenos, se encuentran sobre las estructuras montañosas más antiguas, especialmente en las mesas y laderas de disección fuerte, típicas del vulcanismo cenozoico temprano, y sobre las zonas de relieve volcánico complejo. Asimismo, estos barrancos se vinculan con los aparatos volcánicos muy destruidos, y con zonas de pendientes medias a fuertes, se localiza en la zona de la Cañada.
- Planicie y terrazas fluviales y lacustres. Se caracterizan por presentar relieves acumulativos. En el AVQ corresponden a la planicie regional, consiste de diversos materiales fluviales de granulometría fina (arenas, limos, arcillas) y materiales piroclásticos depositados en facies lacustres. Representan los depósitos de los antiguos lagos del cuaternario, que posteriormente fueron afectados por emanaciones volcánicas, cambios climáticos, y lentamente fueron desecándose y drenando hacia el oeste. Las características morfológicas hacen de esta área propicia para el almacenamiento del agua que circula desde las zonas montañosas.

Asimismo, se presenta la caracterización de las unidades hidrogeomorfológicas que es útil para los fines de este estudio.

a) Unidad de sierra. Zona montañosa que caracteriza al área de estudio y la constituyen las unidades litoestratigráficas: andesita, andesita alterada, basalto, ignimbrita, calizas y riolita. Es la zona con mayor pendiente de más de 30° y se presenta la más alta precipitación. La infiltración que se genera en esta unidad es significativa; sin embargo, otra parte significativa también escurre hacia la planicie, prueba de ello es que existe un gran número de corrientes que disectan densamente al relieve, muchas de las cuales cortan fracturas en su desarrollo.

b) Unidad de ladera. Esta unidad representa el conjunto de lomas y mesetas con una elevación 1,800 a 2,000 m.s.n.m., está representada por las unidades litológicas como el basalto y la brecha volcánica, esta unidad hidrogeomorfológica se encuentra fracturada, con una pendiente de 15° en las mesas que la conforman y 20° en las laderas de las mismas, los valores de densidad son de 0.5 a 1.5 y de profundidad son de 10-40, en conjunto estos parámetros definen una unidad en donde se presenta una capacidad de infiltración menor que la anterior y por tanto el escurrimiento es mayor que en la unidad de sierras, donde la cantidad del

volumen de agua precipitada en esta unidad hidrogeomorfológica llega a formar parte del sistema de flujo del agua subterránea.

c) Unidad de planicie acumulativa. Esta unidad es la de mayor extensión dentro del área de estudio, aflora en las partes topográficas más bajas del valle; está constituida por depósitos vulcanosedimentarios de materiales no consolidados, aluvión y/o suelo residual. Como se dijo anteriormente esta unidad es producto de la acción de factores exógenos niveladores del relieve. Actualmente esta unidad ha sido urbanizada en una gran superficie pero, contiene el mayor número de aprovechamientos del agua subterránea y áreas de cultivo, en consecuencia también capta el mayor volumen de agua de riego proveniente del acuífero.

2.5.3. Geología regional

La geología regional del AVQ está compuesta por rocas marinas del Cretácico Superior llamada Formación Soyatal en la base de la secuencia, afloran en la parte norte de la zona de estudio, cerca de Juriquilla. Dicha unidad está cubierta por una secuencia continental del Terciario, debido a un fenómeno tectónico (Orogenia Laramide) que ocasionó que el nivel de los mares disminuyera radicalmente; está conformada por rocas volcánicas, ácidas, intermedias y básicas que fueron eruptadas en el Oligoceno y Mioceno, en donde se originaron una serie de fosas y pilares con orientación NW-SE que formaron la estructura graben Querétaro, limitado por las fallas Querétaro y Tlacote. Coronando al Terciario se presentan algunos eventos volcánicos del Cuaternario y una capa de aluvión y suelo residual. El material sedimentario que rellenó el graben consiste de una secuencia sedimentaria de conglomerados, gravas, arenas, limos y arcillas, normalmente graduada; dentro de esta unidad se encuentran horizontes delgados de rocas piroclásticas de composición silícica. El material arcilloso funciona hidrogeológicamente como una capa confinante a las secuencias de gravas y conglomerados de la parte inferior **Figura 2.6**.



Figura 2.6. Geología regional del estado de Querétaro (INEGI, 2010)

2.5.4. Estratigrafía

Las unidades identificadas en el área de estudio se describen con nombres informales debido a que carecen de una nomenclatura formal, sólo la unidad de rocas carbonatadas y lutíticas de ambiente de sedimentario marino es la que encuentra definida formalmente por Wilson 1955 como Formación Soyatal.

A continuación se describen cada una de las unidades desde la más antigua a la más joven, con algunas de sus características hidrogeológicas.

- **Calizas y lutitas (Kss) (Formación Soyatal)**

La secuencia litológica regional tiene como base a la Formación Soyatal, se trata de un depósito de ambiente marino, conformado por lutitas calcáreas de color pardo a gris que intemperizan a pardo amarillento. Se encuentran sumamente plegadas, presentan interstratificación de capas de caliza grises, sus espesores van de 0.30 a 0.05 m.

En la zona de El Nabo se realizaron varias perforaciones de las cuales se sabe que por lo menos dos tienen más de 900 m de profundidad. De la que se tiene referencia (*Pacheco, Tesis Modelo de subsidencia del valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales, 2007*), el corte del pozo **Figura 2.7**, indica que de los 20 a los 900 m corresponde a una caliza; sin embargo, con base en la información del Servicio Geológico Mexicano, Hoja F14-10 y los estudios realizados por GUYSA (1991, 1992, 1997) indican la presencia de lutitas en la región.

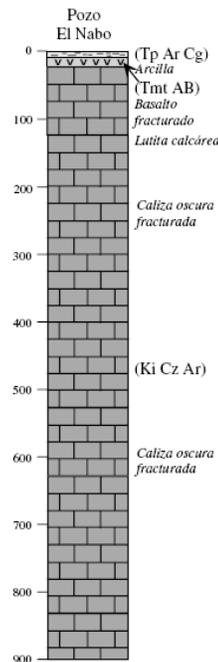
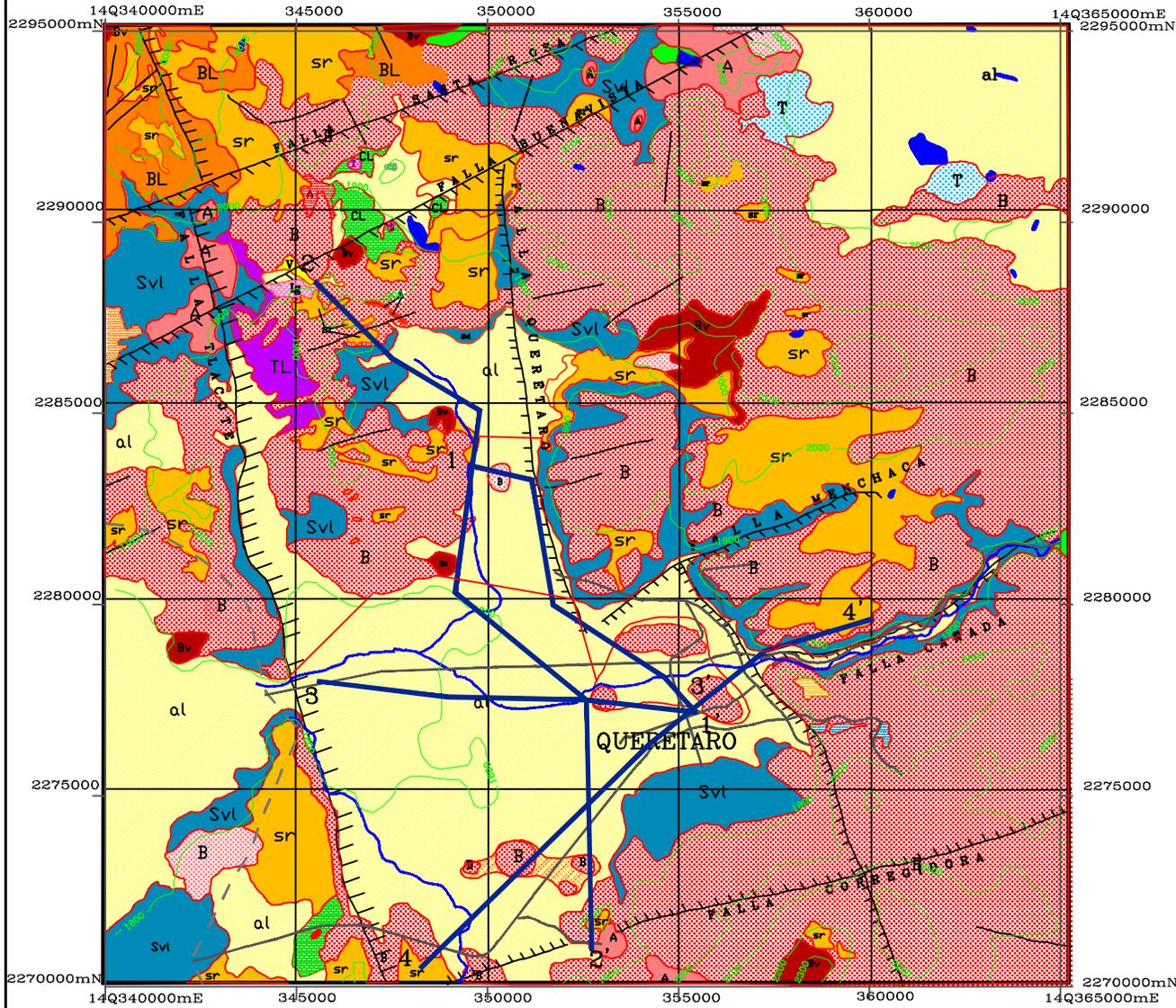


Figura 2.7. Corte litológico del pozo el Nabo

(Jesús Pacheco Martínez, Tesis Modelo de subsidencia del valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales, ANEXO E litología de pozos usados en la modelación de datos gravimétricos, 2007).

En la **figura 2.8** se muestra la distribución de las unidades litológicas que conforman la geología de la región.



SIGNOS TOPOHIDROGRÁFICOS

- CARRETERA PAVIMENTADA
- TERRACERÍA
- BORDO
- LÍMITE ESTATAL
- CURVA DE NIVEL TOPOGRÁFICA
- RÍOS Y ARROYOS
- CARRETERA PAVIMENTADA

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

- CONTACTO GEOLÓGICO
- FALLA NORMAL, BLOQUE HUNDIDO
- FALLA INFERIDA O SEPULTADA
- LINEAMIENTOS
- FRACTURAS
- LOCALIDAD CON MUESTRA DE ROCA
- SECCIÓN GEOLÓGICA

**COLUMNA GEOLÓGICA
ROCAS SEDIMENTARIAS Y VOLCÁNICAS**

- SUELO RESIDUAL
- DEPÓSITOS ALUVIALES
- BRECHA VOLCÁNICA DE COMPOSICIÓN BASÁLTICA
- BASALTO EL TAMBOR
- TOBAS
- SEDIMENTOS VULCANOCLÁSTICOS LACUSTRES
- BASALTO LAJEADO NEGRO
- IGNIMBRITA
- ANDESITA
- CALIZAS Y LUTITAS

ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS

- DACITA DE HORNBLENDA
- TOBAS LÍTICAS
- VITRÓFIDO DE COMPOSICIÓN ANDESÍTICA

Escala Gráfica 1:111000

Mapa geológico	
Arturo M. Morales Behar	
Mapa geológico mejorado del estudio Guya-CONAGUA 1996	
Agosto 2011	Figura 2.8

Esta formación subyace a cualquier depósito volcánico. Debido al origen de los sedimentos posteriores forma un contacto discordante y se encuentra cortado por rocas ígneas intrusivas. Esta formación fue depositada en el Cretácico Superior (Turoniano).

Aflora en la parte norte del área de estudio, entre los poblados de Juriquilla y El Nabo. Generalmente se encuentra cubierta por depósitos aluviales recientes.

- **Rocas Ígneas Intrusivas**

La región se identifica como una zona volcánica pero también se encuentran eventos intrusivos.

Se cree que las rocas cretácicas fueron levantadas por eventos intrusivos. Se han encontrado procesos metamórficos de contacto entre la dacita y las calizas lutíticas levantadas. Así como algunos xenolitos de composición andesítica, levantados conjuntamente con la dacita en la periferia.

Se han encontrado diversos diques, que podrían corresponder a diques satélites silicificados, estos se pueden encontrar aflorando en la localidad de Mompaní, uno de ellos alcanza una extensión de 200 a 400 m y 10 m de ancho.

Las evidencias de alteración hidrotermal y metasomática han originado que se establezca una relación con el proceso intrusivo de Juriquilla. Los fenómenos de hidrotermalismo han reducido la porosidad de las unidades litológicas localizadas en los poblados de Mompaní, la Solana, San Pedrito El Alto y Cerrito Colorado.

- **Andesitas (A)**

Esta unidad presenta una constitución mineralógica muy variable, desde andesitas puras hasta una andesita con cuarzo y una traquiandesita, su textura es porfídica de matriz microcristalina. Presenta coloraciones rojizas a rosadas. Se encuentra muy fracturada en todas direcciones y fuertemente alterada por procesos de tipo supergénico y por procesos hidrotermales. Existen zonas donde la andesita se encuentra muy alterada (Mompani y La Solana), donde ha perdido la textura original, y se le clasifica de diferentes maneras andesita, andesita basáltica de pigeonita y basalto, dependiendo de la composición de sus plagioclasas, presenta una textura afanítica poco porfídica.

Se observa alteración de muy bajo grado debido a la presencia de clorita, sericita y epidota. En el poblado de San José El Alto se identifica esta unidad como una arcilla verde, en un pozo a una profundidad de 200 m.

Esta unidad presenta pequeños afloramientos, los más representativos se encuentran en la parte norte en el cual se manifiesta la falla Buenavista. En la parte noroeste se encuentra otro afloramiento y en el cual se manifiestan la Falla Tlacote y la falla Buenavista, otro afloramiento de esta unidad se encuentra en la zona sur. Se puede encontrar en el camino que va del poblado del Nabo hacia la Hacienda San Miguelito, otro afloramiento se encuentra al sureste, conformando el cerro La Gallina y el poblado de Mompaní. En la parte central se puede apreciar en el poblado de Los Olvera y en el cerro El Picacho.

Estratigráficamente sobreyace a la Formación Soyatal, su edad va del Oligoceno al Mioceno. Su espesor promedio es mayor a 200 m.

- **Ignimbritas (Ig)**

Esta unidad está formada por emisiones ignimbríticas. Se trata de cuerpos piroclásticos de tobas con fragmentos de cuarzo en una matriz criptocristalina o vítrea. Presenta una textura brechoide y tobácea, se observan líneas de fluidez bien definidas, presenta una coloración rosada, se pueden encontrar afloramientos de pómez color gris.

Estratigráficamente se encuentra subyaciendo discordantemente a unidades basálticas, tobas líticas y sedimentos vulcanosedimentarios.

Esta unidad se observa en algunas localidades como son, El Nabo, el arroyo Mompani y en la Cañada, (fuera del área de estudio su edad fue determinada del Oligoceno-Mioceno). (Guysa, 1997).

En el pozo EL Nabo se cortaron 350 m de este material (CONAGUA, 2009). Esta situación requiere de realizar un análisis más a detalle de las condiciones geológicas de la zona, por lo expresado también en la descripción de la unidad Soyatal.

- **Basalto lajeado (BI)**

Roca de color negro con textura afanítica, pilotaxítica, porfídica, microlítica, con planos de fracturamiento limpio y abierto, horizontales y verticales. Recibe el nombre de basalto lajeado por un fracturamiento secundario ocasionado por efectos de descompresión tensional que produjo un lajeamiento en diferentes direcciones hasta llegar a ser curvo. Debido al intenso fracturamiento que presenta la roca, se le considera una buena zona para llevar a cabo la infiltración de la recarga. Sus espesores son muy variables, en algunos cortes se observan espesores de 10 a 20 m sin encontrar su base expuesta.

Esta unidad aflora en diferentes lugares y en 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 de Jáuregui, en San Isidro el Viejo, al norte de Mompaní y el Nabo y al sur de Tlacote El Bajo.

Sobreyace discordantemente a las andesitas y en algunos afloramientos se encuentra subyaciendo e interdigitado con tobas líticas y sedimentos vulcanosedimentarios. Su edad es del Terciario (Plioceno). (CONAGUA, 2009)

- **Tobas Brechoides**

Esta unidad presenta espesores de 2 a 5 m, está constituida por fragmentos angulosos de basalto color gris claro en una matriz tobácea arenosa color pardo.

Se encuentra aflorando en la parte sur a partir del arroyo El Pueblito o El Batán y al sur del cerro el Pelón, forman pequeñas exposiciones circulares, algunas se explotan como canteras de roca ornamental.

- **Tobas Vitrocristalinas**

Se trata de una roca de color gris, rosado, su textura es tobácea y piroclástica, presenta distintos grados de densidad dependiendo del contenido vítreo. Esta unidad es producto de un vulcanismo peleano, proveniente posiblemente de la Caldera Amealco. Su depósito es similar al de la unidad de tobas brechoides, no fue depositada en la zona norte o ha sido erosionada. Presenta un espesor entre 1 y 5 m.

Su exposición se puede observar en una parte de Menchaca, y sobre el río Querétaro aunque en este lugar tienden a ser ignimbritas.

- **Tobas Limo Arenosas**

Unidad compuesta por depósitos tobáceos limo-arenosos color pardo claro a oscuro, presenta mayor potencia en la parte oriental, sus espesores varían de 1 a 3 m.

- **Tobas Vítreas**

Caracterizadas por su fisiografía que consiste en “*tierras malas*” muy erosionadas. Constituida por tobas vítreas fuertemente alteradas, se transforman fácilmente en minerales arcillosos. Se comportan de manera impermeable.

- **Sedimentos vulcanolacustres (Svl)**

Es una serie de materiales no consolidados de textura piroclástica-epiclástica. Su granulometría es muy variable desde detritos inmaduros a maduros, de clastos gruesos a limos y arcillas, presenta coloraciones rojizas, color crema y verdosas.

Entre los sedimentos que se pueden encontrar hay arenas que van de muy finas a muy gruesas de color blanco pardo parcialmente consolidadas.

Presenta una disposición horizontal en su mayor parte aunque también se pueden encontrar con una leve pendiente o con estratificación cruzada. Se presenta poco consolidada o deleznable, lo que se puede interpretar como una roca que tiene buena porosidad y alta permeabilidad. Estos materiales son los que forman el acuífero granular AVQ.

Se encuentran en toda la región, ya que son los depósitos que rellenan el graben, siendo el proceso exógeno más extenso. Se encuentran interdigitados con coladas de lavas andesíticas y/o basálticas, de espesor variable.

Sus espesores son muy variables van de pocos metros hasta algunos cientos de metros, entre los espesores identificados fueron 340 m en el pozo 1978 (Censo de pozos 1997) y probablemente más de 500 m en la parte central del AVQ (Pozo Santa María Magdalena del censo de pozos de 1997).

Estratigráficamente se encuentra subyaciendo a las coladas basálticas. Tienen una edad del Plioceno al Reciente.

- **Basalto (B)**

Basalto de olivino negro con una textura afanítica holocristalina, microlítica, intergranular y muy denso. Recibe el nombre de Basalto Tambor debido a que existe un cerro formado de este material con ese nombre.

Es una de las unidades que presentan mayor área de afloramiento junto con los depósitos aluviales. Se presenta como mesetas coronadas por coladas lávicas, conformando espesores de 1 a 3 m. presentan planos de fracturamiento en sistemas horizontal y vertical muy abiertos y limpios, lo que da origen a grandes bloques cúbicos de hasta un metro por lado. Pertenecen a un vulcanismo básico alcalino.

Presenta una morfología muy característica que forma grandes bloques cúbicos. Gracias a ella se puede inferir que las coladas son de material que escapó a través de las fisuras en zonas de distensión que se pueden observar en el centro del AVQ en los cerros La Cruz, Las Campanas, cerro Gordo y el Tambor.

Se encuentra en contacto con la mayor parte de las unidades descritas anteriormente, en la parte noroccidental y central y en contacto discordante con los depósitos vulcanoclásticos lacustres, en la parte norte con contacto con el basalto lajeado, al oriente se encuentra sobre las tobas limoarenosas y las ignimbritas y finalmente al sur sobre las tobas vitrocristalinas.

Las coladas de lava se encuentran intercaladas con los depósitos aluviales del AVQ. Se considera que es el último evento de vulcanismo básico alcalino del Pleistoceno y Holoceno.

- **Brecha Volcánica (Bv)**

Se trata de una toba brechoide de material volcánico color gris oscuro a rojizo, presenta una textura brechoide causada por alteración en los minerales férricos de la matriz. Se observan oquedades dentro de la brecha, algunas son de tamaños considerables, dando como resultado una topografía muy abrupta.

Dentro de estas brechas se ha identificado la acumulación de sílice cristalino y lechoso con superficies botroidales rellenas de carbonatos, los carbonatos han relleno también cavidades y fracturas.

Se sitúa sobre los frentes de corrientes lávicas, conos cineríticos y escoráceos o estrato-volcanes. Esta unidad se correlaciona con eventos volcánicos recientes.

Esta unidad se observa en el cerro Cimatarío, cerro El Nabo, sobre las márgenes del río Querétaro, cerro de Las Campanas. Es la de mayor área de afloramiento en la región.

Su edad va del Pleistoceno-Holoceno.

- **Aluvión y/o suelo residual (Al/Sr)**

Está constituido por gravas y boleos en matriz arcillosa, limosa y arenosa. Alcanza espesores de 70 hasta 80 m en la parte central del valle. Esta unidad constituye propiamente al AVQ.

El suelo residual se encuentra principalmente sobre rocas basálticas, este suelo se utiliza para el cultivo, permite la infiltración de agua a los estratos inferiores, hasta que se satura.

En las regiones donde estos depósitos alcancen espesores considerables y se cumpla que la capa que subyace a esta unidad sea impermeable, se convierte potencialmente en una zona de interés.

2.5.5. Historia geológica

En la **Figura 2.9** se muestra la columna geológica con la posición de las unidades líticas en función a su relación estratigráfica, como parte importante para la definición de las rocas que actualmente contienen agua y como parte importante para definir las características de la zona drenada.

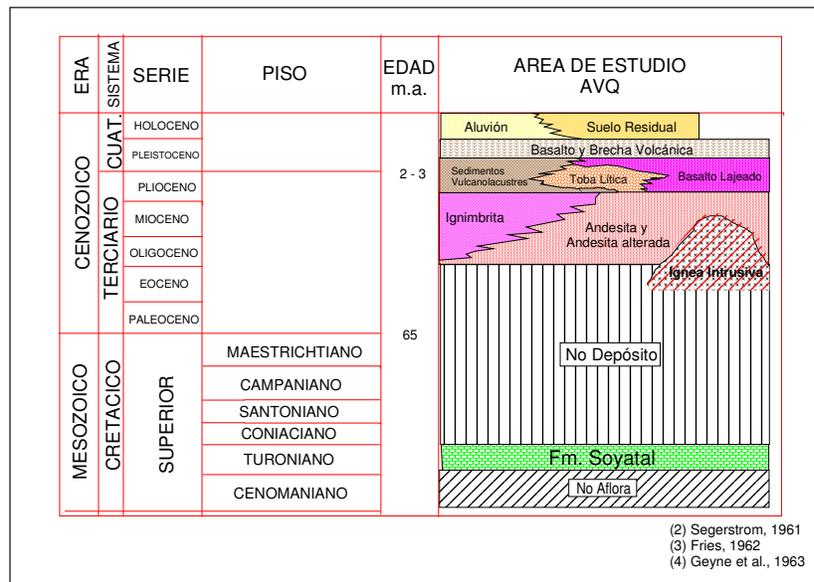


Figura 2.9 Historia geológica (modificado de GUYSA, 1997)

2.5.6. Geología estructural

El AVQ se ubica en la intersección de dos sistemas de fallas regionales, cada uno con varias centenas de kilómetros de largo. Uno tiene una orientación norte-noroeste (NNW) y es conocido como Sistema de Fallas Taxco-San Miguel de Allende (SFTSMA), **Figura 2.10**

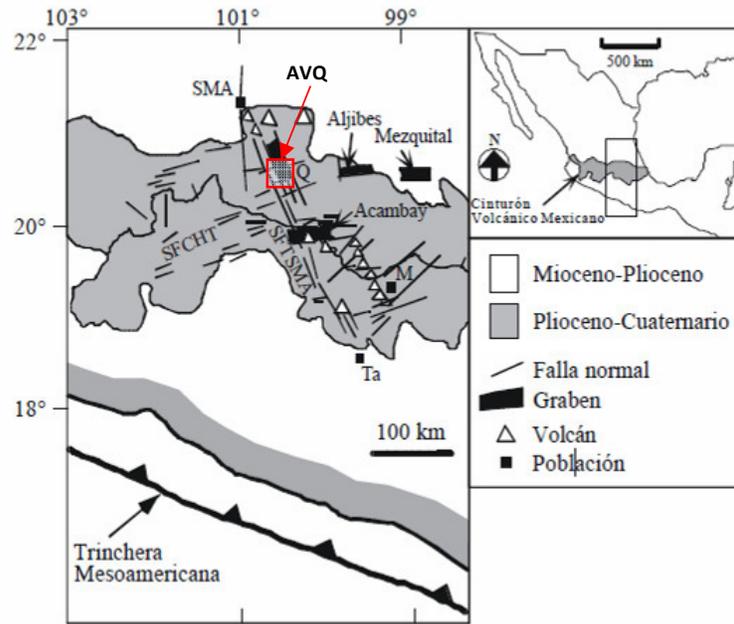


Figura 2.10. Sistemas de fallas regionales en el Eje Neovolcánico
(Aguirre Díaz, 2005)

El otro sistema tiene una orientación este-noreste y se le conoce como Sistema de Fallas Chapala-Tula (SFCHT). Ambos sistemas se intersectan en una amplia franja que abarca al menos desde Huimilpan hasta Santa Rosa Jáuregui y desde Apaseo El Alto, hasta Amazcala, **Figura 2.11**. Esta intersección de sistemas produjo un arreglo ortogonal de fallas normales que forman un mosaico de horsts, grabens y semigrabens, que culminan con el graben de Querétaro. En la figura se aprecian las fallas principales que se identifican en el AVQ (Aguirre Díaz, 2005).

La sucesión volcánica de Querétaro se acumuló sobre un paleorelieve constituido por rocas sedimentarias del Mesozoico, las cuales fueron plegadas durante la orogenia Laramide y son correlativas con las que afloran en la Sierra Madre Oriental. (CONAGUA, 2009).

Durante la actividad volcánica presente en la región se cerraron algunas cuencas, mismas que fueron azolvadas con aportes vulcanoclásticos. Estas rocas volcánicas presentan cierta estratificación.

Posteriormente, se presentaron esfuerzos distensivos los cuales ocasionaron una sistema de fallas normales asociadas fosas y pilares (horst y graben); esto se ve reflejado a nivel superficial por el patrón que sigue el drenaje.

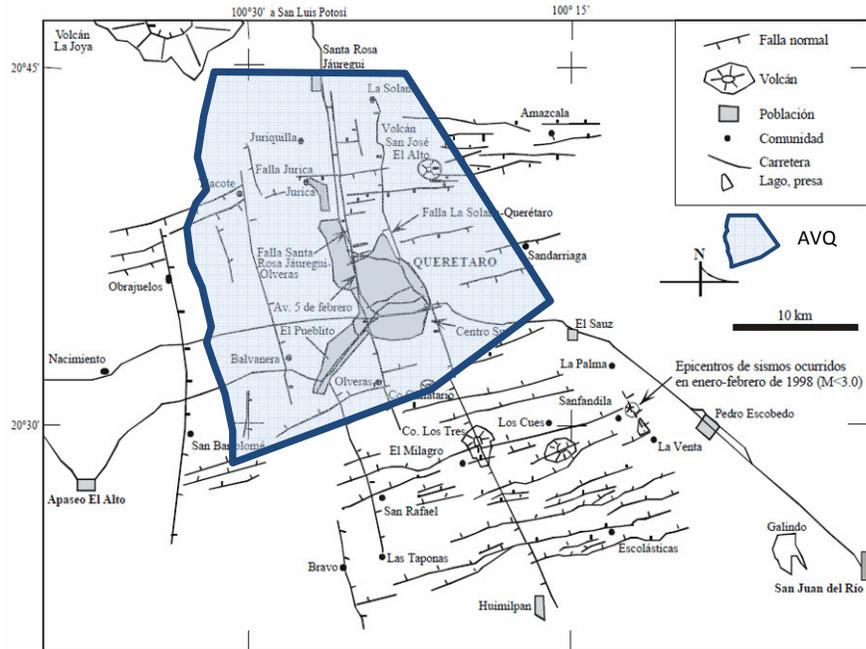


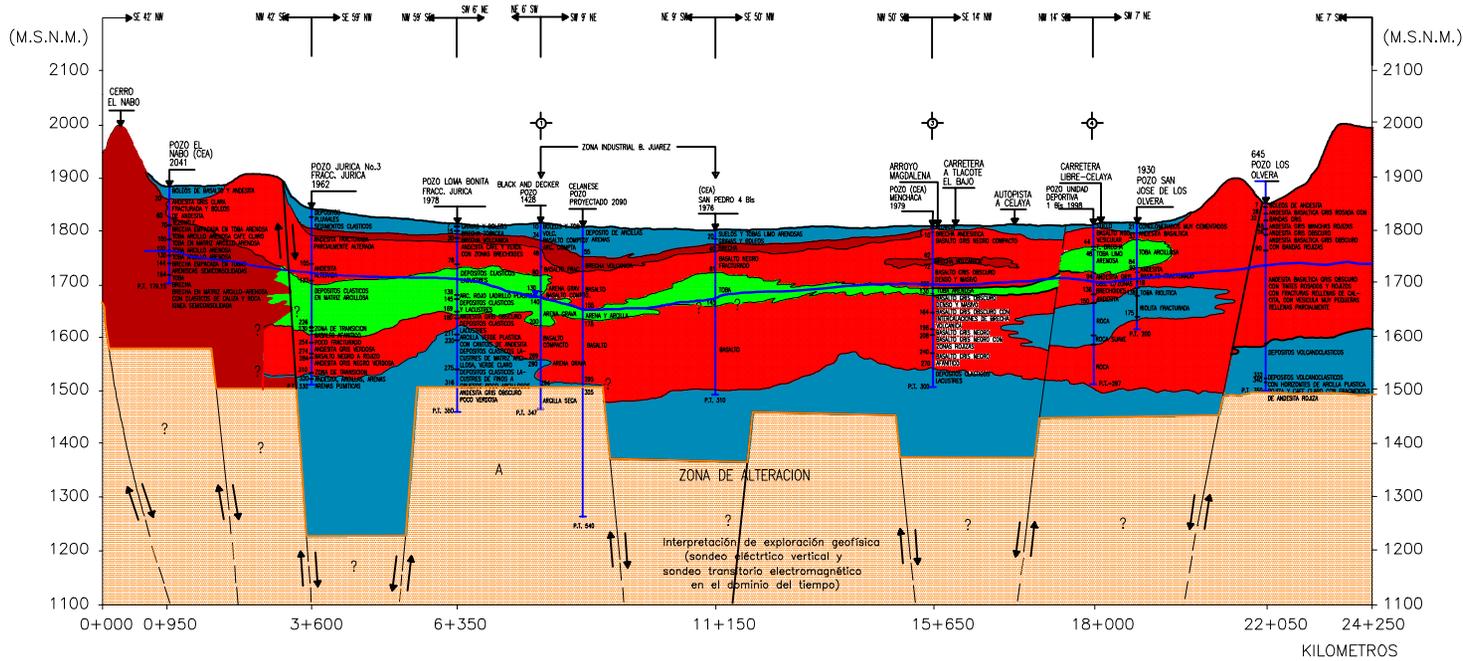
Figura 2.11. Geología estructural del AVQ
(Aguirre Díaz, 2005, adaptada)

2.5.7. Geología del subsuelo

En las figuras 2.12, 2.13, 2.14 y 2.15 se muestran las secciones geológicas indicadas en el mapa, con las cuales se puede interpretar de mejor manera la geología del subsuelo. En la figura 2.12, sección geológica 1-1' se observa un fuerte cono de abatimiento, el cual está ocasionado por la gran concentración de pozos de abastecimiento y a las condiciones geológicas y estructurales presentes en la zona. Al este de la sección se localiza la intersección de la falla Querétaro con la falla Menchaca.



SECCIÓN GEOLÓGICA 2-2'



SIMBOLOGÍA

- (M.S.N.M.) METROS SOBRE NIVEL DEL MAR
P.T. = 270 m PROFUNDIDAD TOTAL (ACOTADA EN METROS)
- NW ← S5'E → SE
- RUMBO DE LA SECCIÓN
FALLA GEOLÓGICA
1 - 1' SECCIÓN GEOLÓGICA (VER PLANO GEOLÓGICO PARA SU UBICACIÓN EN PLANTA)
- CONTACTO INFERIDO
- CRUCE CON SECCIÓN GEOLÓGICA
CADENAMIENTO O KILOMETRAJE
2+600
- BASALTO
- SEDIMENTOS VULCANOCLÁSTICOS
- BRECHA VOLCÁNICA
- TOBA
- CALIZA Y LUTITA
- NIVEL ESTÁTICO 1996 (GUYSA)

NOTA :
LAS DESCRIPCIONES DE LOS CORTES LITOLÓGICOS FUERON TRANSCRITAS RESPETANDO EL ORIGINAL, EN LOS CORTES DE LA ZONA PLANA, LOS REPORTES DE ANDENITA SE INTERPRETARON COMO BASALTO PARA GUARDAR CONGRUENCIA CON EL MARCO GEOLÓGICO CONCEPTUALIZADO.

Sección geológica 2

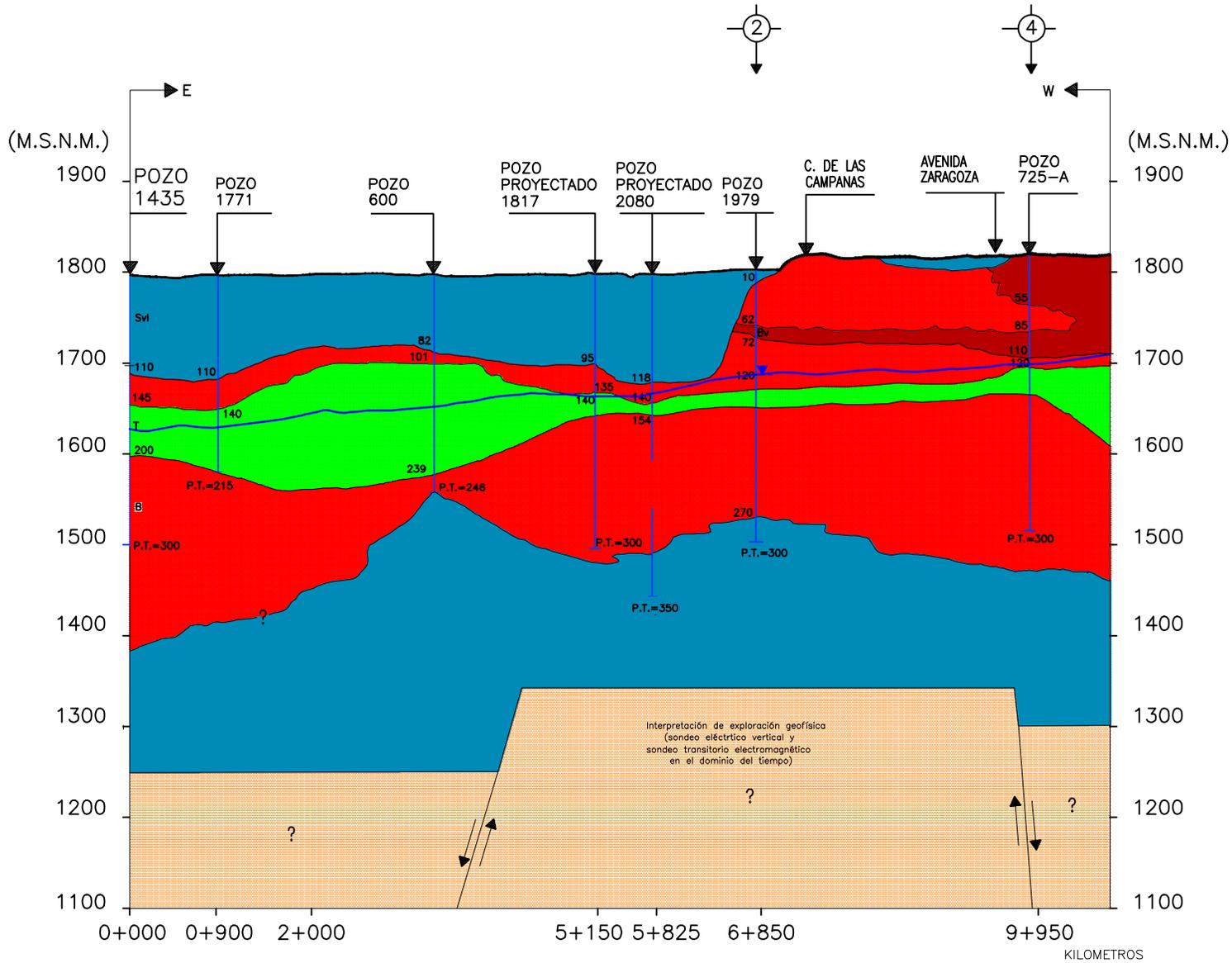
Arturo M. Morales Behar

Sección geológica mejorada del estudio
Guysa-CONAGUA 1996

Agosto 2011

Figura 2.13

SECCIÓN GEOLÓGICA 3-3'



SIMBOLOGÍA

- (M.S.N.M.) METROS SOBRE NIVEL DEL MAR
- P.T. = 270 m PROFUNDIDAD TOTAL (ACOTADA EN METROS)
- NEW ← S5°E RUMBO DE LA SECCIÓN
- 1 - 1' FALLA GEOLÓGICA
- 1 - 1' SECCIÓN GEOLÓGICA (VER PLANO GEOLÓGICO PARA SU UBICACIÓN EN PLANTA)
- CONTACTO INFERIDO
- CRUCE CON SECCIÓN GEOLÓGICA
- 2+600 CADENAMIENTO O KILOMETRAJE
- BASALTO
- SEDIMENTOS VULCANOCLÁSTICOS
- BRECHA VOLCÁNICA
- TOBA
- CALIZA Y LUTITA
- NIVEL ESTÁTICO 1996 (GUYSA)

NOTA :
LAS DESCRIPCIONES DE LOS CORTES LITOLÓGICOS FUERON TRANSCRITAS RESPETANDO EL ORIGINAL, EN LOS CORTES DE LA ZONA PLANA, LOS REPORTES DE ANDESITA SE INTERPRETARON COMO BASALTO PARA GUARDAR CONGRUENCIA CON EL MARCO GEOLÓGICO CONCEPTUALIZADO.

Sección geológica 3

Arturo M. Morales Behar

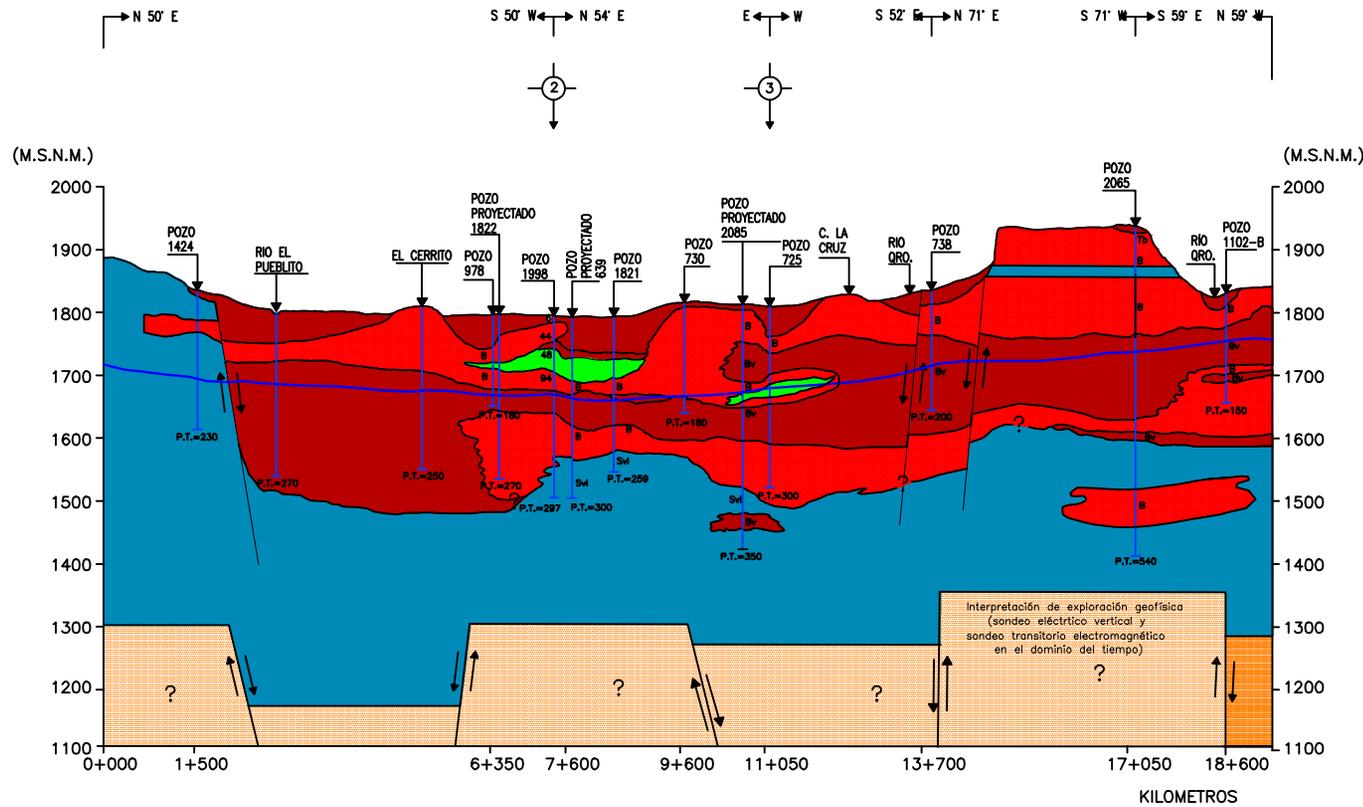
Sección geológica mejorada del estudio
Guysa-CONAGUA 1996

Agosto 2011

Figura 2.14



SECCIÓN GEOLÓGICA 4 - 4'



SIMBOLOGÍA

- (M.S.N.M.) METROS SOBRE NIVEL DEL MAR
P.T. = 270 m PROFUNDIDAD TOTAL (ACOTADA EN METROS)
- ← N 50° E → S 50° W → N 54° E ← E → W → S 52° E → N 71° E ← S 71° W → S 59° E N 59° W →
- 1 - 1' SECCIÓN GEOLÓGICA (VER PLANO GEOLÓGICO PARA SU UBICACIÓN EN PLANTA)
- CONTACTO INFERIDO
- CRUCE CON SECCIÓN GEOLÓGICA
- CADENAMIENTO O KILOMETRAJE
- BASALTO
 - SEDIMENTOS VULCANOCLÁSTICOS
 - BRECHA VOLCÁNICA
 - TOBA
 - CALIZA Y LUTITA
 - NIVEL ESTÁTICO 1996 (GUYSA)

NOTA :
LAS DESCRIPCIONES DE LOS CORTES LITOLÓGICOS FUERON TRANSCRITAS RESPETANDO EL ORIGINAL, EN LOS CORTES DE LA ZONA PLANA, LOS REPORTES DE ANDESITA SE INTERPRETARON COMO BASALTO PARA GUARDAR CONGRUENCIA CON EL MARCO GEOLÓGICO CONCEPTUALIZADO.

Sección geológica 4

Arturo M. Morales Behar

Sección geológica mejorada del estudio
Guysa-CONAGUA 1996

Agosto 2011

Figura 2.15

2.6. Marco hidrogeológico

2.6.1. Región hidrológica

El AVQ pertenece a la Región Hidrológica No. 12, cuenca del río Lerma-Santiago, en la subcuenca río la Laja. **Figura 2.16.**



Figura 2.16. Región hidrológica (INEGI, 2010)

La corriente superficial principal es el río Querétaro. Este cauce lo forma el tributario principal conocido como río Chichimequillas, que recoge volúmenes de la cuenca situada al noreste del AVQ. Fluye en dirección E-W, desde la Cañada hasta Santa María Magdalena donde se intercepta con el río El Pueblito. Existen numerosas escorrentías que descienden del cerro El Penal, hasta llegar a las partes más bajas del AVQ. El río El Pueblito es el colector público de aguas residuales e industriales de las poblaciones Villa Corregidora, El Pueblito, de la ciudad de Querétaro y zona Industrial Benito Juárez.

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

En la porción norte del área en estudio se localiza el Arroyo San Isidro, que fluye con dirección general N-S, cruza la población de Santa Rosa Jáuregui, así como el arroyo Juríca que drena con una dirección semejante.

El drenaje superficial de las partes altas es denso, del tipo subparalelo y arborescente, cuya disección en las rocas es profunda y de fuerte pendiente; en la zona de lomeríos predomina el tipo radial, menos denso y con poca disección en las rocas. En la zona plana del valle el drenaje es escaso, subdendrítico y paralelo, con cauces de poca

disección debido a la poca pendiente y a la reducida capacidad de infiltración, lo que genera graves problemas de inundación sobre todo en la zona urbana.

2.6.2. Clima, precipitación y temperatura

El clima en el AVQ está condicionado a los accidentes del relieve topográfico y a factores geográficos definidos por las diferentes altitudes de la Sierra Madre Oriental, que funciona como barrera orográfica, limitando el paso de los vientos marítimos procedentes del Golfo de México. **Figura 2.17.**



Figura 2.17. Clima (INEGI, 2010)

El clima representativo del AVQ con base en los datos obtenidos de la carta estatal de climas (según Köppen, modificado por E. García), escala 1:500,000; se presenta un sólo tipo de clima, Semiseco Bs₁, el cual a su vez se subdivide en dos subtipos los cuales son:

a) Bs₁hw (w) Clima semiseco semicalido. Este subtipo abarca toda la parte central del AVQ. La temperatura media anual es de 17.4° C, el registro anual de la temperatura muestra que la más elevada se da en el mes de mayo (22.6° C) y la temperatura mínima se registra durante el mes de enero (14.2° C), **Figura 2.18**. La precipitación media anual en la zona es de 533.87 mm, la cual varía de 650 mm en la porción norte, hasta más de 850 mm en la porción sur, presentándose el período de lluvias entre los meses de mayo a octubre y el periodo de estiaje de noviembre a abril observándose el mínimo de precipitación en febrero con 4.85 mm, y el de mayor incidencia en julio con 120 mm, **Figura 2.19**. La evaporación potencial media anual de 1689.43 mm, media mensual de 151 mm y la máxima mensual de 205.03 mm en mayo; todo ello con base en los registros de las estaciones climatológicas de Juriquilla y El Pueblito correspondientes al período de (1979-91) y (1960-91).



Figura 2.18. Temperatura media anual (INEGI, 2010)

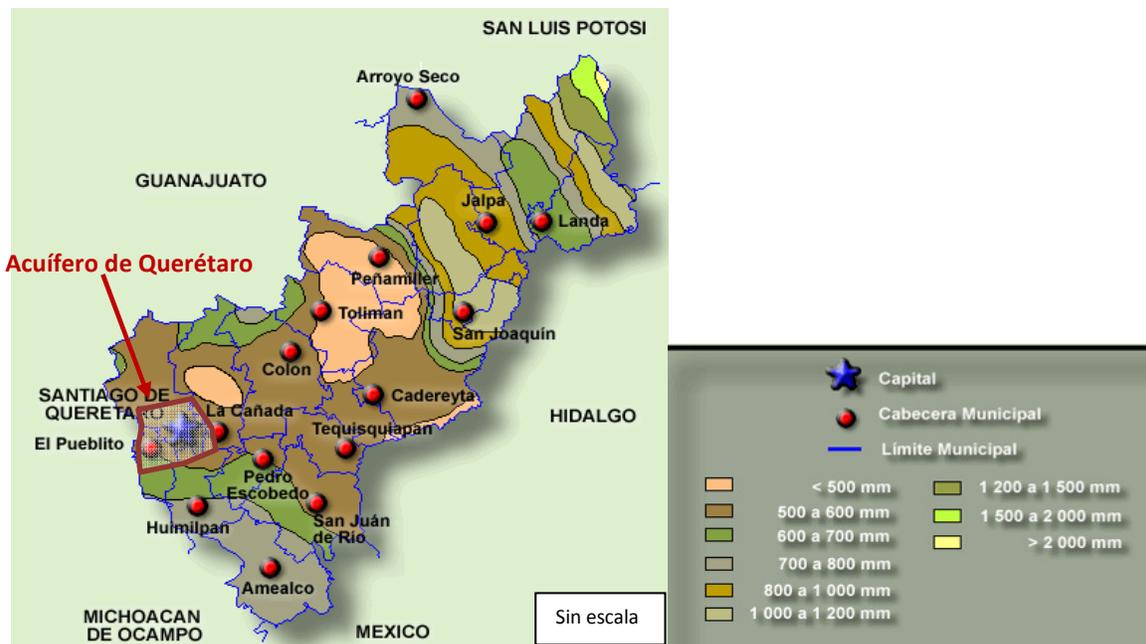


Figura 2.19 Precipitación media anual

(INEGI, 2010)

b) Bs₁kw (w) Clima semiseco templado con verano cálido. Se manifiesta en las partes topográficamente más altas en el este y norte del AVQ. La temperatura media anual es de 17.2° C, la media mensual máxima se presenta en el mes de mayo con 20.4° C y la mínima en enero con 12.8° C. La precipitación media anual oscila entre 600 y 700 mm, presentándose el período de lluvias se presenta entre los meses de mayo a octubre y el periodo de estiaje de noviembre a abril registrándose el mínimo de precipitación en febrero con 4.1 mm, y el de mayor incidencia en julio con 133.1 mm. La evaporación potencial media anual de 2040.98 mm, media mensual de 123.9 mm y la máxima mensual

de 229.5 mm en abril; todo ello con base en los registros de la estación climatológica de La Palma correspondiente al período de (1949-93).

En la **Tabla 2.3** se muestra información actualizada de la estación que se localiza en la zona central del AVQ,

Tabla: 2.3. Historial de temperatura y precipitación de la estación climatológica 76625 (MMQT)
(<http://clima.meteored.com/clima-en-queretaro-766250.html>)

	1997	1999	2003	2006	2007	2008	2009
Temperatura media anual (° C):	19.4	19.0	19.4	18.9	19.0	18.3	18.9
Temperatura máxima media anual (° C):	26.0	24.5	26.2	26.3	26.5	26.4	27.5
Temperatura mínima media anual (° C):	11.6	11.5	11.7	10.1	10.1	9.5	10.2
Precipitación media anual (mm)	334.29				530.83	502.4	357.91

2.6.3. Censo de aprovechamientos

Con base en la información del REPDA y en el estudio de “Determinación de la disponibilidad del AVQ” (CONAGUA, 2009), existen 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 uso industrial, se puede ver su distribución en la **Figura 2.20**.

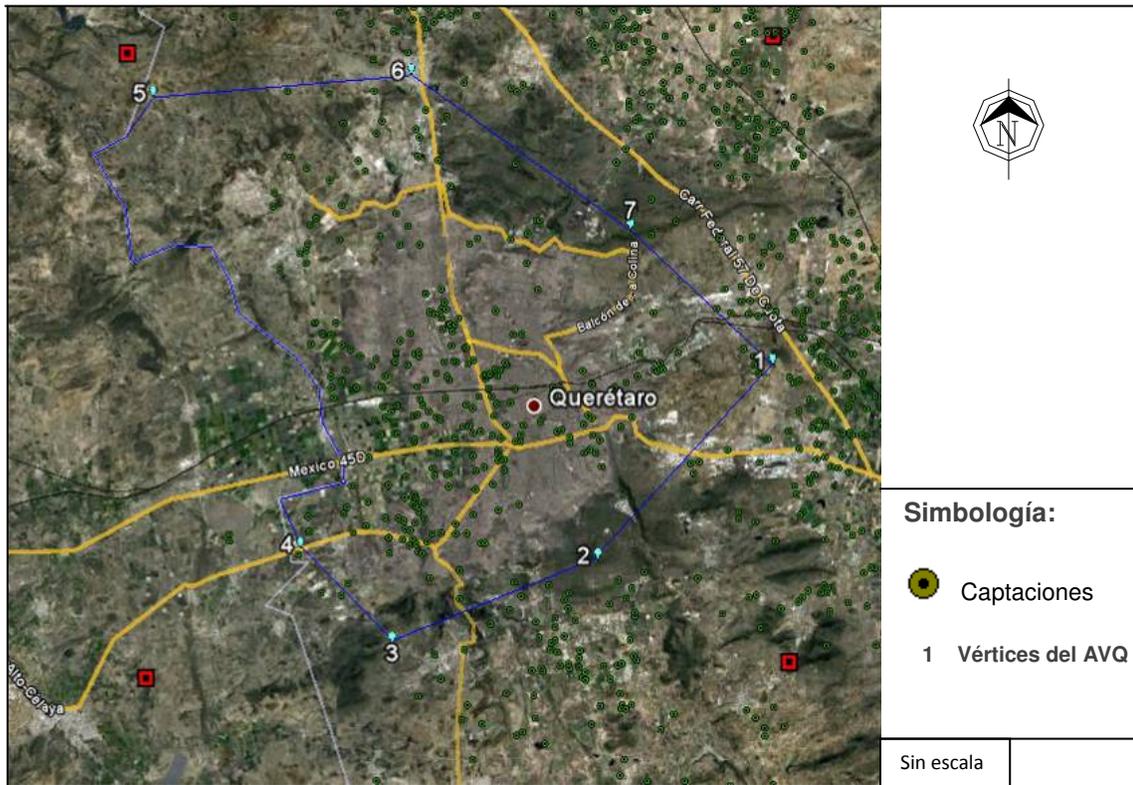


Figura 2.20 Localización de las captaciones de acuerdo al REPDA,
(<http://siga.conagua.gob.mx/REPDA/menu/frameKMZ.htm> y Google Earth, 2009)

2.6.4. Piezometría

Como parte de las actividades de monitoreo que desarrolla la CEA, se tiene que a partir de 1994 realiza dos mediciones al año de la posición de los niveles del agua subterránea. Para el año 2009, la posición del agua al nivel estático en la zona plana del AVQ se encuentra entre los 100 y 110 m, y particularmente en las zonas de El Romeral, San Pedro Mártir y, El Estadio en promedio a los 130 m, y la zona Industrial Benito Juárez hasta los 160 m, mientras que en la zona de la Cañada entre los 50 y 70 y en el Salitre y San Pedrito el Alto de 30 a 50 m.

La evolución del nivel estático es en promedio de 3.5 m por año

2.6.5. Hidrometría

Con base en la información histórica de extracción, se consideran para este trabajo los volúmenes de extracción de 1996, mismo que se tomaron en cuenta para realizar el balance de aguas subterráneas y para cuantificar la disponibilidad del acuífero. **Tabla 2.4**

Tabla 2.4 Volúmenes de extracción para 1996 (tomado de DOF, 28 de agosto de 2009)

Uso	Volumen (Mm ³)
Agrícola	28.0
Industrial	8.0
Potable	67.0
Total	103.0

Sin embargo, de acuerdo a los volúmenes de agua concesionado por el REPDA se reporta un volumen de extracción para abril de 2002 de 142.316 Mm³/año.

2.6.6. Propiedades hidrodinámicas

En el estudio de Simulación Hidrodinámica y Diseño Óptimo de la Red de Observación de los Acuíferos de Aguascalientes y Querétaro (CONAGUA, 1997), se realizó la reinterpretación de 18 pruebas de bombeo, obteniéndose valores de conductividad hidráulica horizontal. Los valores de la conductividad hidráulica se tomaron de Guysa 1997, en el cual las pruebas de bombeo fueron interpretadas por el método de Neuman y Theis para el caso en que las pruebas indicaban la existencia de acuíferos libres, y para el caso de acuíferos semiconfinados fueron analizadas por el método de Hantush. **Tabla 2.5**, y en la **figura 2.21** la distribución de valores.

Como se puede apreciar, los valores mayores se localizan en la parte plana del AVQ y hacia la zona de Tlacote; mientras que en la zona de Juriquilla los valores son muy bajos.

Tabla 2.5. Valores de conductividad hidráulica horizontal obtenida a partir de la interpretación de las pruebas de bombeo (Datos tomados de GUYSA, 1997)

Pozo	X	Y	Kh (m/día)	Litología
596	352378.50	2277234.45	13	Basalto
0615-A	344001.13	2281913.19	40	Basalto
752	358234.78	2278528.43	20	Basalto
982	344823.34	2278283.85	10	Basalto
987	356080.19	2278086.66	0.9	Basalto
2037	358299.99	2274492.67	6	Basalto
2079	349409.68	2279182.13	1.7	Basalto
2085	355743.71	2275929.90	3.2	Basalto
743	354814.09	2278025.92	0.097	Basalto
953	352644.95	2278899.61	0.08	Basalto
2082	347697.06	2279395.10	10	Basalto
1707	348851.88	2283152.82	0.1	Basalto
627	350614.75	2274379.35	40	Basalto
663	348778.00	2272284.00	20	SVL
1232-A	350394.82	2285410.02	0.3	SVL
1291	345413.42	2272418.40	0.55	SVL
1950	361592.00	2279127.00	1	SVL
1746-A	349621.29	2272343.73	0.205	SVL
743	354814.09	2278025.92	0.015	SVL
953	352644.95	2278899.61	0.98	SVL
2082	347697.06	2279395.10	10	SVL
1707	348851.88	2283152.82	0.8	SVL
627	350614.75	2274379.35	10	SVL

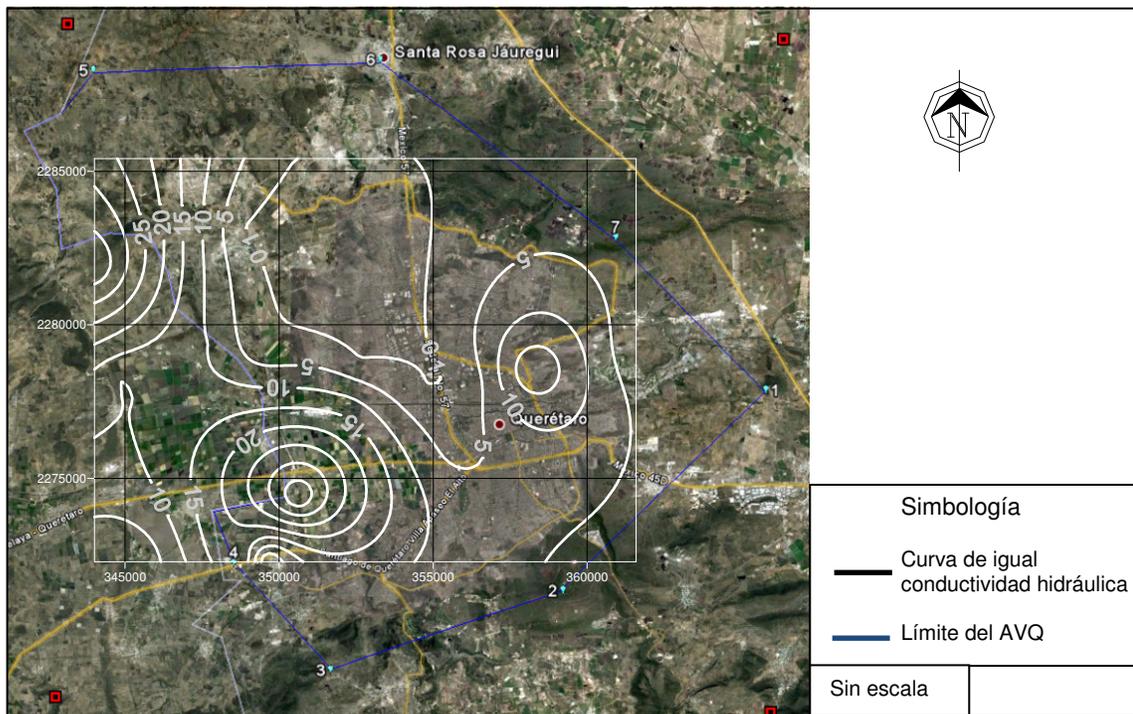


Figura 2.21 Distribución de los valores de conductividad hidráulica en el AVQ

2.6.7. Unidades hidroestratigráficas

El monitoreo de las cargas hidráulicas es el indicador más contundente en la delimitación de las zonas de recarga y descarga, y obviamente el punto apoyo para caracterizar a los sistemas de flujo. Toth (1963) definió los sistemas de flujo con base en las áreas de recarga y descarga y su relación con la topografía y marco geológico.

En el caso del AVQ, para el año 1997 se manifestaba un flujo local que ocurría en una franja que bordea un tramo corto del río Querétaro en la planicie y en medios porosos. El flujo intermedio se manifestaba levemente en la porción oriental del valle, tanto en medios fracturados y porosos. En el resto del valle, la explotación intensiva ha deformado el esquema de flujo y por ende las trayectorias del agua en el subsuelo.

GUYSA (1997), describe los medios geológicos por los que circula el agua subterránea caracterizándolos en medio poroso y medio fracturado de la siguiente manera:

- **Medio poroso**

Está compuesto por depósitos aluviales, tobas arenosas y los sedimentos vulcanosedimentarios, los cuales se encuentran rellenando el graben de Querétaro, desde las inmediaciones de Juríca hasta la porción sur, en la zona que comprende del Cimatarío a Corregidora. En la parte oriental se localiza en los estrechos denominados La Cañada, Cuesta China y Menchaca. Al poniente por la definición de la falla Tlacote.

El espesor de este medio se ha identificado, con base en exploraciones geofísicas (sondeos eléctricos verticales y sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo), del orden de los 600 m.

Las características hidrogeológicas indican que los valores de conductividad hidráulica dependen de la granulometría; los depósitos aluviales y vulcanolacustres presentan los valores más altos de conductividad hidráulica, aunque dentro de estos se localizan horizontes arcillosos. Los valores de conductividad obtenidos a partir de la interpretación de pruebas de bombeo (GUYSA, 1997), están en un intervalo de 0.032 a 1 m/día, encontrándose que en la zona de El Tlacote los valores son superiores a los 10 m/día. Ver figura 2.21. En el trabajo mencionado se presenta una caracterización detallada del medio poroso.

La transmisividad promedio de este medio es de $0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (0.7 m²/día). El coeficiente de almacenamiento estimado es del orden del 0.07, sin embargo, por el comportamiento del abatimiento de los niveles es de esperarse que sea mayor (GUYSA, 1997).

Medio fracturado

Está compuesto por rocas de tipo andesita, andesita alterada, ignimbritas, riolitas, basaltos, brechas volcánicas y tobas líticas y vítreas.

En el subsuelo se encuentra intercalado e interdigitado con depósitos lacustres, con un espesor del orden de los 300 m. Se identifica en la parte norte del AVQ en la zona de El Salitre, Mompaní, Juriquilla y San José el Alto, corresponde a las zonas con topografía más alta. En la porción sur se identifica en la zona de los Oliveras.

Los valores de conductividad hidráulica horizontal oscilan entre los 0.08 a 40 m/día. Los menores se localizan entre Juríca y Zona industrial Benito Juárez. La transmisividad

promedio es de $0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ($2.9 \text{ m}^2/\text{día}$), mientras que el coeficiente de almacenamiento es del orden de 0.07 (GUYSA, 1997).

2.6.8. Acuífero del área

Con base en la información analizada se concluye que el AVQ es de tipo libre y en algunas localidades es semiconfinado. Está constituido por varios tipos de rocas que presentan variaciones litológicas tanto lateral como vertical.

El sistema de flujo tanto local como intermedio se presenta en el medio poroso y en el fracturado.

En el año 1997 se identificaban dos sistemas de flujo: local e intermedio, que representaban tanto al medio fracturado como poroso, lo que originaba la presencia de dos niveles piezométricos.

El nivel somero era de bajo rendimiento, de poco espesor y se localizaba en el centro de la zona urbana y a la largo del río Querétaro. Hoy en día este nivel es de esperarse que ya no exista; sin embargo, es de interés para definir las zonas donde se pretende favorecer la filtración al acuífero e incrementar la recarga. La base de este acuífero es un basalto semicompacto.

Debajo del basalto antes mencionado, se ubica el acuífero principal, caracterizado por un sistema de flujo intermedio libre. Está caracterizado por medio granular permeable (sedimentos vulcanosedimentarios), el cual funciona como recarga directa al acuífero y por depósitos granulares.

2.6.9. Disponibilidad de agua superficial

Por la situación geográfica y ubicación hidrológica **Figura 2.22**, el volumen de escurrimiento anual de la cuenca del río Querétaro es de 128.9 Hm³: **Tabla 2.6**

Tabla 2.6 Volumen de escurrimiento de la cuenca del río Querétaro

Cuenca	Superficie km ²	Escurrecimiento natural medio anual (hm ³)	Coficiente de escurrimiento	Precipitación media anual (mm)
Río Querétaro	2,255	128.9	0.08	714.52

Diario Oficial de la Federación (24 de julio de 2006)

Por lo que respecta a los volúmenes por uso consuntivo en la superficie del acuífero en estudio se tiene la siguiente información **Tabla 2.7**

Tabla 2.7. Uso consuntivo en la cuenca del río Querétaro

Cuenca	Volúmenes en hm ³							Total
	Agrícola		Pecuario	Público urbano	Industrial	Subtotal	Pérdidas Vasos	
	Distritos de Riego	P.I.						
G Ameche	0.0	82.3	14.1			96.4	9.6	106.0

(Tomado de DOF, 24 de julio de 2006)

En la figura 2.22 se puede observar la la cuenca del río Lerma-Chapala, así mismo, a los estados que abarca y las principales presas de almacenamiento que pertenecen a esta cuenca.



Figura 2.22. Cuenca del río Lerma-Chapala (tomado de DOF, 24 de julio de 2006)

Con base en la normatividad, la disponibilidad media anual de agua superficial de una cuenca hidrológica, en su salida, se estima por:

$$\text{Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca (D)} = \text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ab)} - \text{Volumen anual actual comprometido aguas abajo (Rxy)}$$

Mientras que el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas debajo de su salida se estima por:

$$\begin{aligned} \text{Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo (Ab)} &= \text{Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba (Ar)} + \text{Volumen medio anual de escurrimiento natural (Cp)} \\ &+ \text{Volumen anual de retornos (R)} + \text{Volumen anual de importaciones (Im)} \\ &- \text{Volumen anual de exportaciones (Ex)} - \text{Volumen anual de extracción de agua superficial (Uc)} \end{aligned}$$

Con base en esta ecuación la parte correspondiente a la cuenca del río Querétaro se tiene: **Tabla 2.8.**

Tabla 2.8. Elementos que integran la ecuación de balance de agua superficial

Cuenca	Cp	Ar	Uc*	Uc**	R	Im	Ex	Ab
--------	----	----	-----	------	---	----	----	----

G	Río Querétaro	128.9	0.0	53.8	106.0	0.0	0.0	0.0	22.9
---	---------------	-------	-----	------	-------	-----	-----	-----	------

Donde:

Cp.- Esgurrimiento natural o "virgen" por cuenca propia

Ar.- Esgurrimiento aguas arriba

Uc*.- Usos consecutivos, REPDA al 30 de abril de 2002

Uc**.- Usos consecutivos (demanda utilizada y pérdidas en vasos de almacenamiento)

R.- Retornos

Im.- Importaciones

Ex.- Exportaciones

Ab.- Esgurrimientos aguas abajo

Por otro lado, el remanente (Ab) de los recursos propios de la **cuenca X** (Cp y R); además, de los recursos que le son aportados por otras cuencas (Ar e Im), una vez satisfechas las demandas (Uc, Ex), representan los esgurrimientos hacia agua abajo (Ab) de esta cuenca. Resulta evidente que este esgurrimiento se convierte en el término Ar de la **cuenca Y** y que dependiendo de su propia oferta, parte o toda esta aportación (Rxy) será necesaria para satisfacer sus propias demandas. De esta manera, la disponibilidad no comprometida (D) de **la cuenca X** estaría dada por:

$$D = Ab - Rxy$$

Es evidente que si Ab es menor que los compromisos aguas abajo (Rxy), matemáticamente D sería negativo, pero en términos reales se puede decir que no existe disponibilidad hacia aguas debajo de la cuenca en estudio. Así, en la zona del AVQ se tiene: **Tabla 2.9.**

Tabla 2.9 Cálculo de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Querétaro

	Cuenca	Ab	Rxy	Ab -Rxy	D
G	Río Querétaro	22.9	23.6	-0.7	0

Dónde: D = Ab- Rxy
 Ab = Esgurrimiento aguas arriba
 Rxy = Volumen comprometido aguas abajo
 D = Disponibilidad

Con base en la publicación del Diario Oficial de la Federación de fecha 15 de octubre de 2003 en el que se publica el "ACUERDO por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las diecinueve cuencas localizadas en la zona hidrológica denominada río Lerma-Chapala, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales", el río Querétaro no cuenta con un volumen disponible a su salida; presenta un déficit.

2.6.10. Disponibilidad de agua subterránea

En el Diario Oficial de la Federación del 24 de julio de 2006, la CONAGUA publica la disponibilidad de agua subterránea de los acuíferos de la cuenca del Lerma, en la que se encuentra el AVQ, se menciona que los acuíferos no son independientes y se encuentran interconectados por secciones permeables, compuestos por material aluvial en los primeras decenas de metros, los cuales reciben una alimentación o recarga natural generada por la infiltración de la lluvia y de los escurrimientos superficiales que tiene lugar en los macizos montañosos donde afloran rocas fracturadas y a lo largo de los cauces de las corrientes principales.

A esta componente natural se agrega la recarga generada por las actividades humanas, que en su conjunto han modificado el ciclo hidrológico de la zona en forma significativa. Las modificaciones mayores fueron producidas por el desarrollo agrícola: el riego con agua derivada de los ríos generó una recarga incidental derivada de las pérdidas por conducción o distribución y de la infiltración de excedentes de riego. Por otra parte, el bombeo de pozos en las inmediaciones de los cauces, provocó el abatimiento de los niveles freáticos y con ello propició una recarga inducida desde los cauces, que originalmente recibían parte de la descarga natural de los acuíferos: a menor escala, la urbanización ha impermeabilizado la superficie del terreno, con la consiguiente disminución de la recarga natural local; a cambio, las pérdidas en las redes hidráulicas han generado una recarga incidental de magnitud creciente.

Debido a la extracción de agua subterránea, los niveles freáticos se ha ido abatiendo y la descarga natural decrece en forma gradual hasta ser casi suprimida; ahora la descarga dominante, con mucho, es la artificial. Con base a los estudios disponibles, realizados el curso de los últimos 25 años, se estima que la recarga media anual de los acuíferos de la zona es del orden de 3,986 Hm³.

El balance que se presenta para 2006 es, **Tabla 2.10**

Tabla 2.10 Cálculo de la disponibilidad de agua subterránea en la cuenca del río Querétaro

Clave sigmas	Acuífero	Recarga media anual	Volumen de extracción de acuerdo a estudios técnicos	Descarga natural comprometida	Volumen concesionado e inscrito en el REPDA (30 de abril de 2002)	Disponibilidad media anual
		Millones de metros cúbicos anuales (Mm ³ /año)				
2201	Valle de Querétaro	70	107	4	142	-76

(Tomado de DOF 24 de julio de 2006)

Por otra parte en el año 2009 la CONAGUA publica la actualización de la disponibilidad de agua para el AVQ, **Tabla 2.11**.

Tabla 2.11. Disponibilidad del AVQ para el año 2009

Clave sigmas	Acuífero	R	DNCO M	VCAS	VEXTE T	DAS	DÉFICIT
		Cifras en millones de metros cúbicos anuales (Mm ³ /año)					
Estado de Querétaro							
2201	Valle de Querétaro	70	4.0	140.760629	109.7	0	-74.76063

(Tomado de DOF de 28 de agosto de 2009)

Como puede observarse el déficit ha disminuido en 1.2 Mm³; sin embargo, el descenso continua, la extracción debe ser mayor porque el crecimiento de la población va en aumento.

2.6.11. 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 Marqués.

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 AVQ. Con relación a las zonas de disponibilidad de acuerdo a la Ley Federal de Derechos, los municipios que abarca el acuífero, son: Querétaro, Corregidora y El Marqués, que se ubican en las zonas de disponibilidad 2, y 3 respectivamente.

2.7. Marco geotécnico

El comportamiento geológico estructural, la explotación intensiva del acuífero y la construcción de nuevos asentamientos (industrias y fraccionamientos), ha generado agrietamientos en el terreno y subsidencia del suelo a lo largo de una traza casi paralela a la avenida 5 de Febrero, la cual ha ocasionado grietas, subsidencia, deformación de vías de comunicación y daños a construcciones. **Figura 2.23.**

Aguirre-Díaz, et al, (2005), en lo referente a la falla de la avenida 5 de Febrero, indica que la deformación del terreno en este sector de la ciudad sigue una traza NNW-SSE, y coincide con la ubicación de la falla Santa Rosa Jáuregui-Olveras (Ver figura 2.11). Sin embargo, aunque es evidente la continua subsidencia y deformación del terreno a lo largo de esta traza, no se ha registrado sismicidad para poder afirmar movimiento a lo largo de la falla mencionada, aunque tampoco se ha verificado por microsismicidad. Son varios los factores que posiblemente intervienen para la formación de las grietas y el hundimiento del terreno. Destacan:



Figura 2.23. Evolución del agrietamiento y fallamiento en el AVQ

(fotos de GUYSA y Jesús Pacheco Martínez)

- 1) La presencia de una falla normal, en este caso, orientada SSE
- 2) Sedimentos acumulados sobre la falla
- 3) La compactación diferencial de estos sedimentos a uno y otro lado de la falla debida a la explotación intensiva de agua subterránea.

Esta última causa supone una mayor acumulación de sedimentos sobre el bloque caído de la falla con respecto a los sedimentos acumulados en el bloque levantado, situación que ocasionará una mayor compactación.

Como conclusión del trabajo mencionado, Aguirre y Daz et al (2005) indican que. *“Aún falta realizar estudios geológicos y geofísicos en la Ciudad de Querétaro que permitan cuantificar el riesgo para la población y para la infraestructura urbana debido a las fallas de este lugar, y la influencia de éstas en el acuífero que abastece esta ciudad. Algunos de estos estudios han comenzado o están por comenzar. Sin embargo, es importante señalar que la cartografía geológica de las fallas y el levantamiento estratigráfico de la zona, documentado con fechamientos isotópicos, es el estudio base para los demás”.*

También indican que *“No se descarta la posibilidad de que alguna de las fallas del graben de Querétaro y su periferia puedan reactivarse en cualquier momento, como fue el caso de la falla Sanfandila, lo que implica un riesgo para la población e infraestructura urbana de la Ciudad de Querétaro y comunidades cercanas”.*

En el trabajo de tesis doctoral de Jesús Pacheco Martínez (2007), se genera un modelo de subsidencia del valle de Querétaro y se hace una predicción sobre el agrietamiento superficial.

El modelo matemático que propone sobre el hundimiento, plantea los mecanismos de generación de grietas y fallamientos asociados a la explotación intensiva del AVQ, aplica métodos geofísicos como gravimetría, magnetometría y refracción sísmica, y caracteriza las fallas del artículo de Aguirre Díaz et al. (2005). En la **Figura 2.24** se muestran las las

zonas susceptibles a experimentar subsidencia y agrietamiento por extracción de agua del subsuelo a nivel estatal.

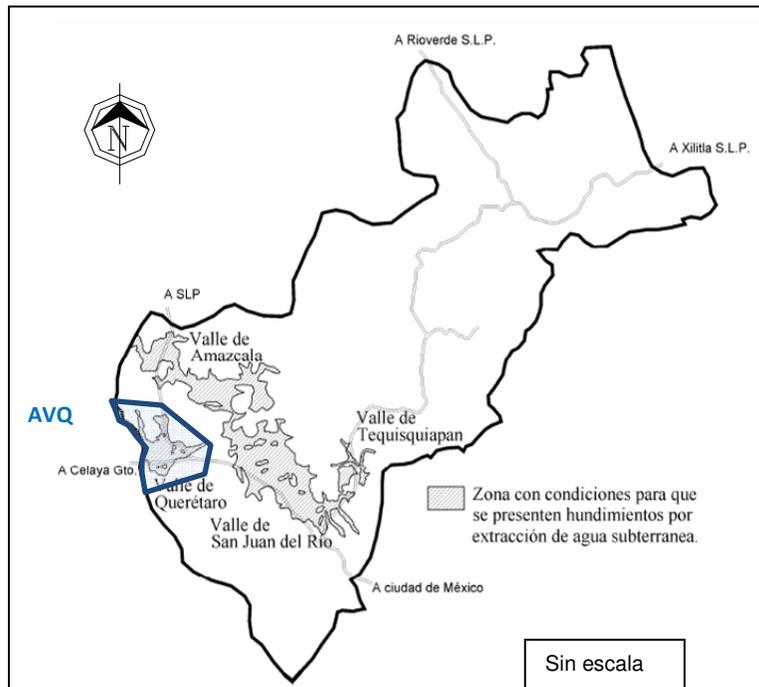


Figura 2.24, Localización de zonas susceptibles de sufrir subsidencia y agrietamiento
(Tomada de tesis doctoral de Pacheco Martínez, 2008)

En cuanto al AVQ en la tesis de Pacheco Martínez identifica las zonas con fallas y agrietamientos, **Figura 2.25**

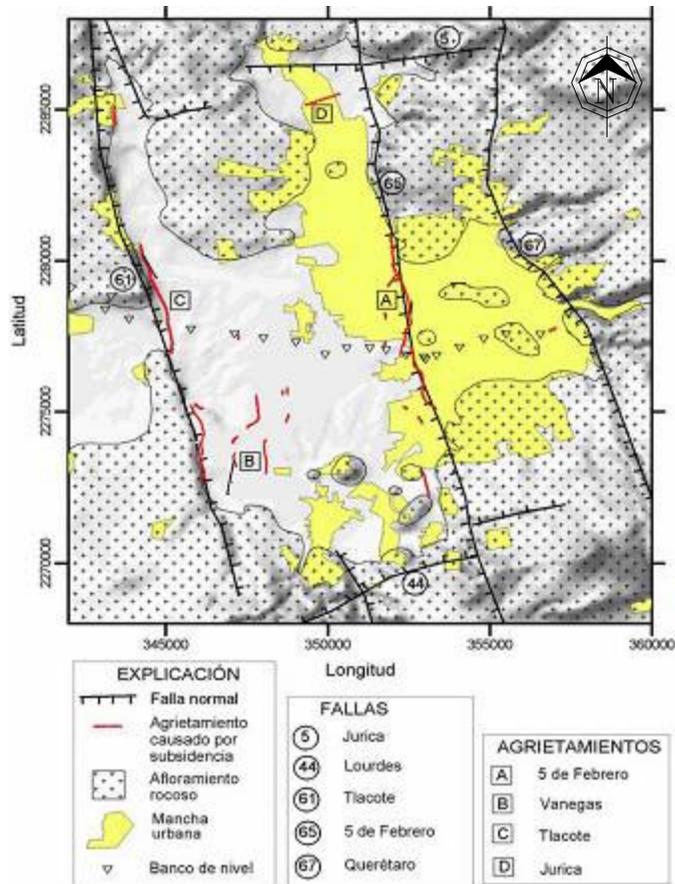


Figura 2.25. Fallas y agrietamientos identificados en el AVQ (Tomado de Pacheco Martínez, 2008)

En la **Figura 2.26** se presenta en forma esquemática una sección W-E del comportamiento del subsuelo en el AVQ

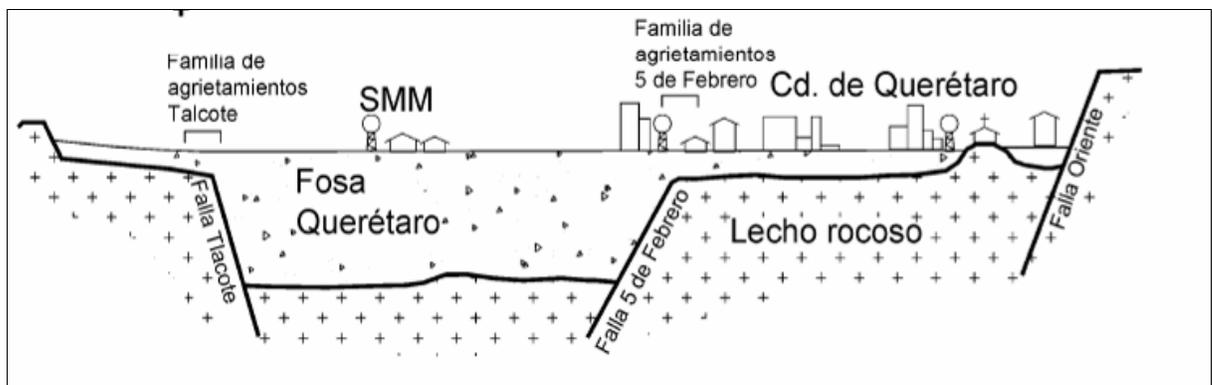


Figura 2.26 Sección esquemática W-E del AVQ identificando las zonas con mayor agrietamiento (Tomado de Pacheco Martínez, 2008)

Los resultados del trabajo de tesis indican que el AVQ, específicamente en la parte central –ciudad–, presenta un hundimiento del terreno originado principalmente por la extracción del agua, **Figura 2.27**.

2.8. Calidad del agua

El estado de Querétaro genera anualmente 94.1 Mm³/año de aguas residuales. De ellos, 67.9 Mm³/año son tipo doméstico, 20.7 Mm³/año son de tipo industrial, 5.1 Mm³/año provienen del sector servicios y el restante 0.4 Mm³/año del sector pecuario. La contaminación de agua proveniente de la ciudad de Santiago de Querétaro está compuesta principalmente de materia orgánica, detergentes y basura inorgánica, mientras que las descargas industriales tienen materiales minerales y orgánicos, sustancias corrosivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológico infecciosas.

En total, el estado cuenta con 282 plantas de tratamiento, de las cuales 52 son municipales, 140 industriales, 43 de servicios y 47 pecuarios. Desafortunadamente, esta infraestructura es insuficiente, pues únicamente el 39% del total de aguas residuales generadas recibe tratamiento. Del volumen total tratado, equivalente a 36.6 Mm³/año, 17.5 Mm³/año son de tipo doméstico y 17.8 Mm³/año de industrial. El porcentaje de tratamiento de aguas residuales en los municipios que cubre el territorio del AVQ es de por municipio varía de la siguiente forma, **Tabla 2.12**

Tabla 2.12. Volumen de aguas residuales tratadas en los municipios que cubre el AVQ

Municipio	Volumen total de aguas residuales generadas Mm ³ /año	Volumen total tratado Mm ³ /año
Querétaro	38.4	15.4
Corregidora	3.2	0.31
El Marqués	1.7	0.14

(Tomado de la Sombra de Arteaga, 2009)

Por lo que respecta al sistema de tratamiento de agua residual de la CEA se tiene **Tabla 2.13**.

Tabla 2.13. Infraestructura para el tratamiento de aguas residuales público urbanas

Municipio	Número de plantas de tratamiento	Capacidad instalada (lps)	Caudal medio anual tratado (lps)	Cuerpo receptor
Querétaro	3	162	104.1	Río Querétaro, riego agrícola, áreas verdes, industria, sanitarios, Presa Dolores
Corregidora	2	360	243	Río Querétaro, riego agrícola, sanitarios, áreas verdes

De acuerdo a información publicada en el Diario Oficial de la Federación del 24 de julio de 2006 sobre la calidad del agua en el AVQ, se observa que está contaminada en un intervalo altamente contaminado, esta categoría se basa en el monitoreo sistemático de la calidad del agua en los principales cuerpos superficiales y subterráneos a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua.

En cuanto al agua subterránea la CONAGUA manifiesta que en general la calidad natural del agua de los acuíferos es apta para todos los usos, pero en las últimas décadas las diversas actividades humanas han deteriorado en alguna medida la calidad del agua subterránea. Probablemente, el deterioro mayor se haya generado en las zonas agrícolas por la aplicación de plaguicidas y fertilizantes. Sin embargo, los estudios realizados revelan que hay una atenuación importante de la mayoría de los contaminantes, gracias a la existencia de potentes zonas saturadas entre la superficie del terreno y los niveles freáticos. El problema mayor consiste en un incremento gradual de la salinidad de los terrenos.

Las zonas urbano-industriales también tienen un impacto negativo sobre la calidad del agua subterránea. La ciudad de Querétaro presenta algunos problemas de contaminación biológica, provocados por el fracturamiento del terreno y el deterioro o las deficiencias constructivas de las captaciones que le suministran.

En el medio rural es común la contaminación biológica de acuíferos “colgados” someros, la cual se asocia con la falta de saneamiento básico y zonas de recarga o captaciones rústicas sin protección sanitaria, cuando éstas se ubican en las inmediaciones de instalaciones sanitarias mal construidas o sin una operación.

2.9. Medio ambiente

2.9.1. Suelo

En el AVQ se presenta tres tipos de suelo. Los Vertisoles, suelos muy fértiles, se encuentran distribuidos alrededor de la zona urbana de Querétaro y los Feozem que se ubican en una pequeña porción al oriente de la ciudad; ambos tipos asociados a los Litosoles, y la parte impermeable producto del crecimiento poblacional e industrial, caracterizado por asfalto y concreto.

2.9.2. Vegetación

La vegetación existente y su distribución en el AVQ obedecen a las diferencias de altitud, clima y tipo de suelo. El tipo de vegetación xerófitica es la más importante, sabiendo que su mayoría son nopales, garambullo y huizache. En función de la fuente de agua que consumen se han dividido en tres grupos.

a) xerófitas: plantas que toman el agua que necesitan de la infiltración. Se forma por el matorrales Este tipo de vegetación se encuentra distribuida en forma de manchones que se localizan principalmente al sureste del AVQ, en la zona de Nuevo Torreón.

b) Freatofitas: comunidades vegetales que toman el agua a partir del nivel freático. Se localizan en la parte baja del valle

c) Cultivos que necesitan de la irrigación principalmente del agua subterránea. Cabe mencionar que esta parte ha sido reducida por el crecimiento poblacional, localizándose en la parte centro occidental del AVQ. Los cultivos son de riego y de temporal.

En la figura 2.28 se identifica la distribución de la vegetación.

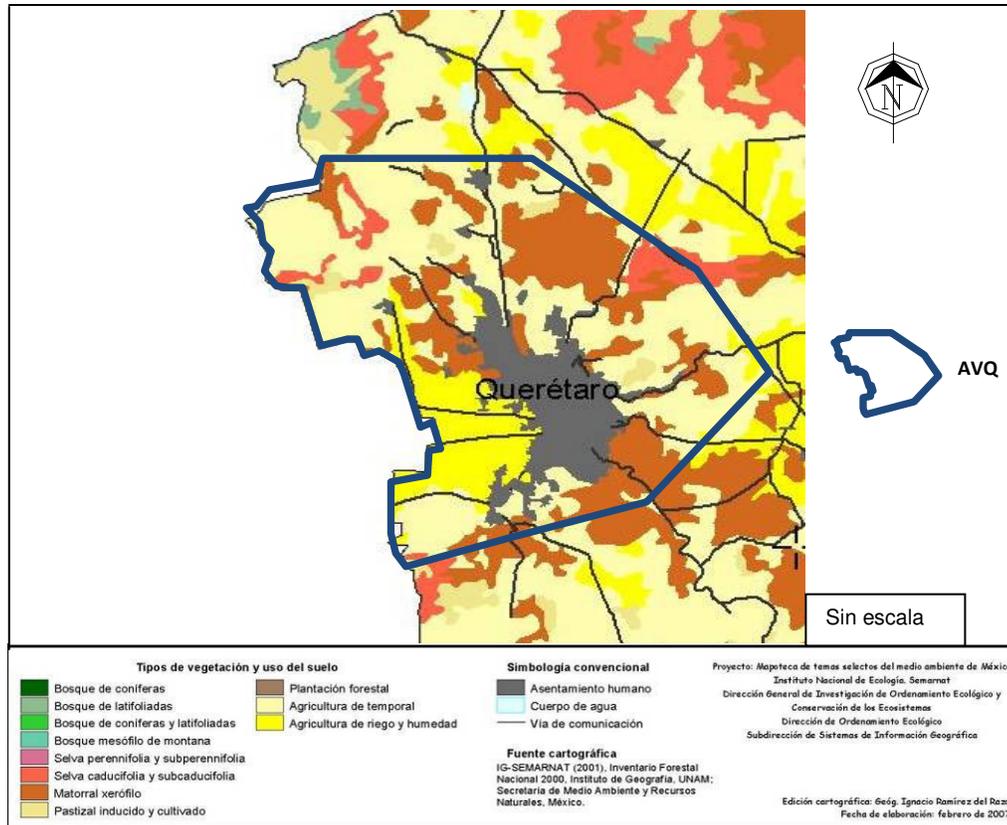


Figura 2.28 Tipo de suelo en el AVQ

(Tomado de INE, 2000, vegetación y uso del suelo 2000, estado de Querétaro)

2.9.3. Uso del suelo

Una parte importante para el desarrollo de este trabajo es la identificación del uso de suelo y sobre todo conocer el avance de la mancha urbana en el AVQ, ya que ésta dará la pauta para el cálculo de los escurrimientos, identificación de zonas de inundación y ubicación de sitios favorables para aprovechar el agua superficial producto del escurrimiento.

El análisis del relieve en función de la morfología, **Figura 2.29**. El AVQ se caracteriza por un relieve eminentemente volcánico; sin embargo, en la parte del valle correspondiente a la zona urbana y agrícola está representado por llanuras lacustres y eólicas. También se identifican sistemas fluviales, los cuales son de consideración para la ubicación de zonas para favorecer la recarga al acuífero.

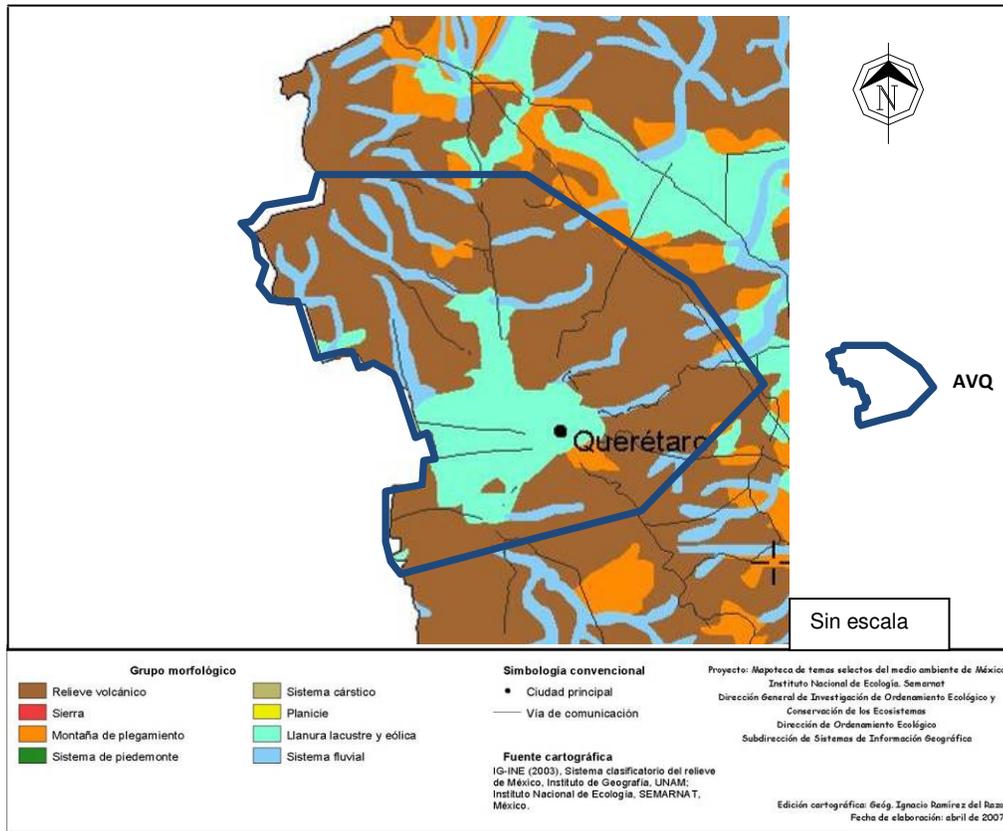


Figura 2.29 Clasificación del relieve en función del grupo morfológico. (Tomado de INE, 2000, vegetación y uso del suelo 2000, estado de Querétaro)

El análisis del relieve indica un porcentaje alto de superficie representada por colinas con disección mediana de 20 a 30 m/km², prácticamente rodeando el AVQ. En la zona urbana se presentan colinas con disección ligera de 15 a 20 m/km² y en la parte agrícola llanuras planas de 0 a 2.5. Hacia la zona norponiente se identifican montañas con disección ligera de 100 a 250 m/km² y cerros con disección fuerte 80 a 100 m/km² y ligera 40 a 60 m/km², específicamente al poniente de Santa Rosa de Jáuregui. **Figura 2.30**

En la parte sur del AVQ se presentan cerros con disección fuerte de 80 a 100 m/km² y en la zona del Cimatarío se identifica como colinas con disección fuerte de 30 a 40 m/km², así como en el cerro El Penal.

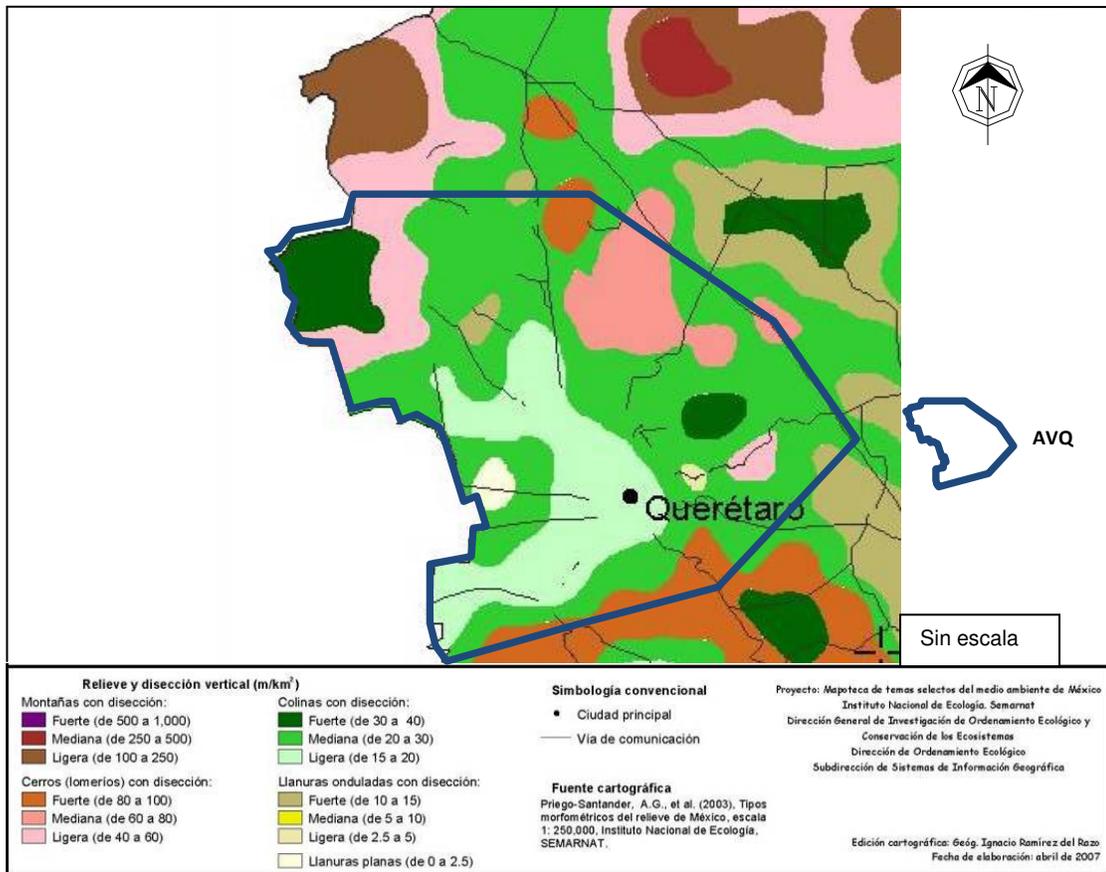


Figura 2.30 Tipo de relieve presente en el AVQ.

(Tomado de INE, 2000, Vegetación y uso del suelo 2000, estado de Querétaro)

En cuanto al crecimiento de la ciudad se observa que éste ha sido muy explosivo, en la **Figura 2.31** se observa una secuencia del crecimiento del límite de la mancha urbana de la ciudad para diferentes años.

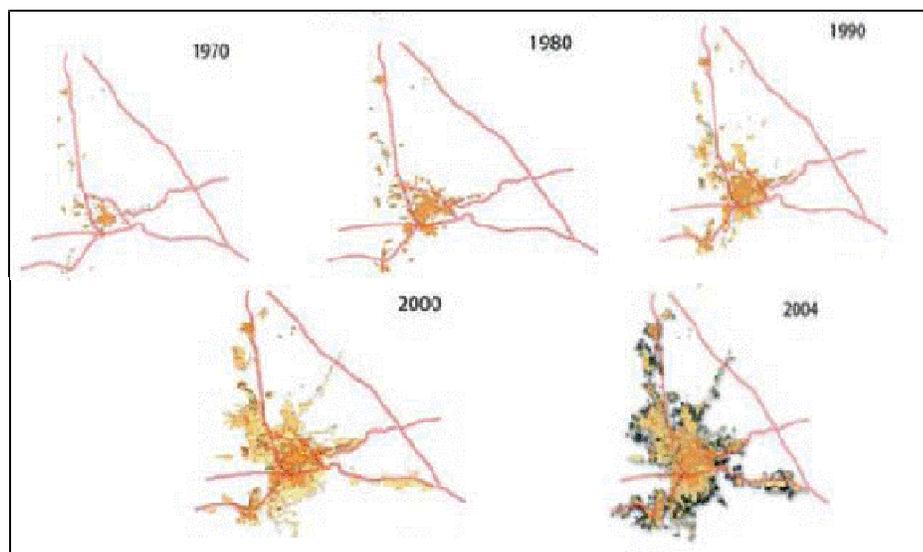


Figura 2.31. Evolución del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Querétaro de 1970 a 2004 (tomado de http://www.conorevi.org.mx/pdf/queretaro/04_Panel1_4.pdf, 2010)

Con base en la imagen de satélite de *Google Earth, 2009* se realizó el cálculo de la distribución de los usos del suelo actuales, **Figura 2.32**, caracterizándose en tres zonas: urbana, agrícola y la correspondiente a las zonas altas, **Tabla 2.14**

Tabla 2.14 Uso del suelo en el AVQ para 2010.

Área	Superficie (km²)
Zona agrícola	130.9
Zona urbana	166.9
Zonas altas	186.2
Total	484.0

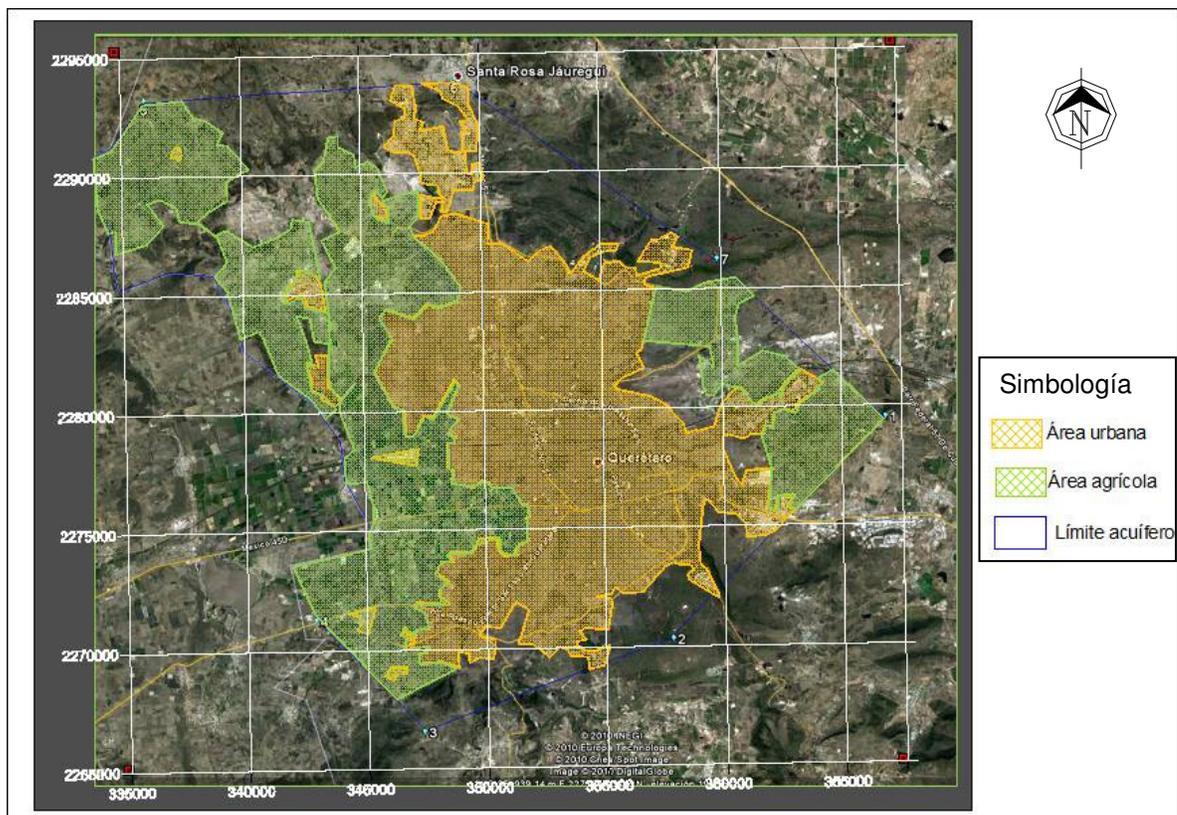


Figura 2.32 Uso del suelo en el AVQ en 2010

2.9.4. Áreas naturales protegidas

En el AVQ se identifican ocho áreas con miras a proteger el patrimonio natural y cultural del estado, y atenuar el impacto que originan las diferentes actividades económicas. Una de las prioridades de la Administración anterior a 2010 fue el decreto de áreas naturales protegidas como instrumento de política ecológica, con fines de conservación en busca de un desarrollo sustentable. Con fecha 17 de abril de 2009, el Gobierno del estado de Querétaro publicó en el Periódico Oficial del Gobierno del estado de Querétaro el Decreto del Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del estado de Querétaro. Lo que corresponde al AVQ es:

- **Parque Nacional “El Cimatario”**, decreto del 21 de julio de 1982, con una superficie de 2,447 has. Ubicada en parte de los municipios de Querétaro y Huimilpan. La mayor proporción de la tierra de esta reserva es propiedad privada con un 86.33%, el 13.67% es ejidal. Cuenta con una belleza natural y escénica, coadyuva a la conservación del medio ambiente mejorando el hábitat de los asentamientos humanos del lugar. Actúa como refugio de la fauna silvestre.
- **Parque Nacional “cerro de Las Campanas”**, decreto del 7 de julio de 1937, con una superficie actual de 3.8 has. en el municipio de Querétaro. Se decreta como Parque Nacional por su valor histórico, así como por constituir un importante atractivo turístico. El área fomenta el esparcimiento, proyección cultural e impulsa el equilibrio entre la naturaleza y la zona urbana de la ciudad de Santiago de Querétaro.
- **Reserva Estatal “Mario Molina-Pasquel, El Pinalito”**, decreto del 7 de Febrero de 2003, con una superficie de 1,592.5 has. ubicada al norte del municipio de El Marqués. El área se enclava en la provincia fisiográfica de la Mesa Central, al norte del municipio de El Marqués, donde destaca el cerro El Pinalito, con 2,980 msnm; su diversidad varía de ecosistemas boscosos en la parte alta, pasando por matorrales hasta los pastizales en la zona baja. La Comisión Nacional de la biodiversidad define al área como una zona identificada como centro de anidación del Halcón Peregrino.
- **Zona Sujeta a Conservación Ecológica “El Tángano”**, decreto del 22 de marzo de 2005, con una superficie de 855.27 has. ubicada en los límites de los municipios de Querétaro, Huimilpan y El Marques. Área donde se desarrolla vegetación de bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo Crasicaule en buen estado de conservación, por su alto valor paisajístico está sujeta a fuertes presiones por los cambios de uso para el desarrollo urbano. La vegetación evita la erosión del suelo y el azolvamiento de los bordos reguladores que se ubican aguas abajo. Recientemente se encontraron en el área vestigios arqueológicos consistentes en fragmentos de cerámica que corresponden al Periodo Epiclásico (600 – 900 años D. C.), cuyo estudio puede proveer de información histórica sobre el área y sus pobladores. Se localiza entre los municipios de Querétaro, Huimilpan y El Marqués
- **Zona Sujeta a Conservación Ecológica “Zona Occidental de Microcuencas”**, decreto del 22 de septiembre de 2005, ubicada en el municipio de Querétaro y con una superficie de 12, 234 has. Su superficie se distribuye en el volcán extinto de La Joya y una serie de cañadas. La vegetación es diversa, con matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y pastizales; la fauna registrada consta de 120 especies. Además, posee 16 zonas con restos arqueológicos. La tenencia de la tierra es en su mayoría ejidal, se delimita por la subcuenca del río Querétaro y constituye las tierras altas de 7 microcuencas, 10 arroyos y 4 presas importantes.
- **Parque Intraurbano Bordo Benito Juárez.** Es un sitio de refugio y descanso para aves acuáticas residentes y migratorias de la parte central de México, alberga cerca del 25% de las especies migratorias en el país, es posible observar más de 1,200 aves en una sola temporada. En el bordo se tienen aproximadamente 46 especies de aves acuáticas y terrestres. Además, de dotar a la ciudadanía de áreas para la recreación y el esparcimiento, proteger a la ciudad en su función como bordo regulador para el control de avenidas pluviales, así como promover el fortalecimiento de la educación ambiental.

- **Zona de Preservación Ecológica de Centro de Población (subcategoría de Parque Intraurbano) “Juríca Poniente”**, decreto del 25 de septiembre de 2006, con una superficie de 224.11 has, y localizada en la porción centro-poniente del municipio de Querétaro, en la microcuenca El Nabo. Su escurrimiento principal es el arroyo Juríca y es una zona de vital importancia para la recarga del acuífero y para prevenir el azolvamiento de los bordos reguladores para el control de avenidas pluviales que se localizan aguas abajo. Aunque predominantemente es una zona de agricultura de temporal, se tiene vegetación riparia y una porción de matorral Crasicaule.
- **Zona conurbada de Querétaro.** Son polígonos seleccionados por su valor ecológico que se localizan en los municipios conurbados a la ciudad de Santiago de Querétaro, como son: municipio de Querétaro, El Marqués, Corregidora y Huimilpan, la vegetación principal está conformada por matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio y bosque de encino. Estos polígonos tiene como finalidad preservar el equilibrio entre las zonas urbanas y los elementos de la naturaleza, para dotar a la población con áreas para su esparcimiento, recreación y fortalecimiento de su educación ambiental sobre el valor e importancia de los recursos naturales a la par de mantener los beneficios ambientales que estos proporcionan y su aprovechamiento sustentable, además de regular y ordenar el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad.

A pesar de estos decretos la mancha urbana sigue en acelerado crecimiento, lo que pone en riesgo estas áreas protegidas.

Asimismo, el Gobierno del estado de Querétaro dentro de su programa de Ordenamiento Ecológico presenta una serie de lineamientos o metas ambientales a lograr, entre las que destacan para el AVQ: **Tabla 2.15**

Tabla 2.15. Lineamientos planteados para el ordenamiento ecológico del AVQ (Tomado de la Sombra de Arteaga, 2009)

No. Lineamiento	Lineamiento	tiempo límite para cumplir el lineamiento	Ro. Acción	Acción	Responsable	Institución del sector de la sociedad que debe ser involucrar	Criterio de regulación ecológica
L01	Disminuir en al menos 50%, el abatimiento anual del acuífero.	Cinco años.	A001	Se aplicará en programa para la captación de agua de lluvia, en un lapso no mayor de cuatro años. Con especial atención a nuevos fraccionamientos.	SEDESU, CONAGUA, CEA, SEDEA, JAPAM, Autoridad Municipal, COTAS, IMTA, SDUOP.	Propietarios, usuarios.	Reglamento General de Construcciones del estado de Querétaro (Feb, 2007), Reglamento de Construcción del Reglamento de Construcción del municipio de Querétaro (11 Mayo 2004).
L01	Disminuir en al menos un 50%, abatimiento anual del acuífero.	Cinco años.	A002	Se regularizará el uso y destino del recurso agua entre concesionarios, en un plazo máximo de tres años.	SEDESU, CONAGUA, CEA, JAPAM, Autoridad Municipal, COTAS, IMTA, SDUOP y Autoridades Competentes.	Propietarios, usuarios.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992).
L01	Disminuir en al menos un 50%, abatimiento anual del acuífero.	Cinco años.	A003	Se aplicarán programas para la tecnificación del riego agrícola, incrementando la eficiencia física en al menos un 80% en un plazo máximo de 5 años.	SEDESU, CONAGUA, CEA, JAPAM, Autoridad Municipal, COTAS, IMTA, SDUOP, SAGARPA.	Propietarios, usuarios.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992), Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (11 octubre 2001), Ley de Desarrollo Rural Sustentable (07 Diciembre 2001).
L02	Emplear aguas residuales tratadas en riego agrícola.	Cinco años.	A004	Se sustituirá en un 70% en uso de agua residual crudas en la agricultura de acuerdo al tipo de cultivo, remplazándolas por aguas residuales tratadas, en un plazo máximo de 4 años. Con especial atención al corredor de Querétaro a San Juan del Río y de Querétaro a Ezequiel Montes.	SEDESU, CONAGUA, CEA, JAPAM, Autoridad Municipal, COTAS, IMTA, ICA.	Propietarios, usuarios.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A005	Se aumentará al 90% la cobertura de alcantarillado en zonas urbanas y en 75% en zonas suburbanas y rurales, en un lapso no mayor de 5 años. Con especial atención aquellas que contemplen localidades con una población mayor a 2500 habitantes.	SEDESU, CEA, CONAGUA, JAPAM, Autoridad Municipal.	Propietarios, usuarios.	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A006	Se constituirán, rehabilitarán y operarán plantas de tratamiento de agua para tratar al menos un 70% de las aguas residuales, en un lapso no mayor a cuatro años.	SEDESU, CEA, CONAGUA, JAPAM, Autoridad Municipal.	Propietarios, usuarios.	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996).

Propuesta de identificación de sitios para la infiltración de agua al acuífero de Querétaro

No. Lineamiento	Lineamiento	Tiempo límite para cumplir el lineamiento	Ro. Acción	Acción	Responsable	Institución del sector de la sociedad que debe	Criterio de regulación ecológica
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A007	El área de comercios o establecimientos alrededor de presas deberá cumplir con los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a la normatividad aplicable a la calidad de agua. No se permite la contaminación de la Presa Santa Catarina con cualquier tipo de residuo líquido o sólido, incluyendo las generadas en viviendas.	SEDESU, CEA, CONAGUA, SEDEA, Autoridad municipal, SEMARNAT, PROFEPA.	Propietarios usuarios, habitantes de la UGA, CEACA, CIDETEQ, IMTA.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992), Reglamento para el Control de las Descargas residuales a los Sistemas de Alcantarillado del estado de Querétaro (04 Abril 1996) Ley de Salud para el estado de Querétaro. (11 Agosto 2006).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A008	Se instrumentará un programa dirigido a la limpieza y desasolve de los ríos, así como la mejora de la calidad del agua, en un lapso no mayor de tres años. Con especial atención a los ríos El Marqués y El Pueblito, incluyendo a las UGAs que abarcan el río Querétaro.	CEA, CONAGUA, Autoridad municipal.	Habitantes de la UGA	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A010	Se colocarán trampas de sólidos para reducir la carga que entra a la red de alcantarillado en un período no mayor a siete años, con al menos 7 vistas de mantenimiento por año.	SEDESU, CEA, CONAGUA, JAPAM, Autoridad municipal.	Propietarios y usuarios.	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A011	Se aplicará la normatividad vigente en cuanto al uso y manejo adecuado de agroquímicos en la agricultura aledaña a presas o al río, fomentando el uso de prácticas alternas tales como: técnicas de rotación de cultivos, abonos verdes, uso de fertilizantes orgánicos o cualquier otro, en un lapso no mayor a dos años.	SEDESU, SAGARPA, SEDENA, INIFAP, CESAVEQ, SEMARNAT, CONAGUA	Productores, propietarios, usuarios.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992), NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 Junio 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996), Ley de Salud para el estado de Querétaro (11 Agosto 2006).
L03	Controlar el flujo de aguas residuales descargadas en aguas, bienes nacionales y en los sistemas de alcantarillado para que no rebasen los límites permisibles de contaminantes de acuerdo a las NOMs.	Cinco años.	A012	Se aplicará la normatividad vigente en la cual se regulan y sancionan aquellas actividades que afecten la calidad del agua en presas, bordos o corrientes de agua, en un lapso no mayor a un año.	SEDESU, Autoridad municipal, CONAGUA, PROFEPA	Productores, propietarios, usuarios.	Los municipios podrán solicitar asesoría legal a la Secretaría de Desarrollo Sustentable, para la revisión y corrección de su reglamento. Ley de Salud para el estado de Querétaro (11 Agosto 2006).

Propuesta de identificación de sitios para la infiltración de agua al acuífero de Querétaro

No. Lineamiento	Lineamiento	Tiempo límite para cumplir el lineamiento	Ro. Acción	Acción	Responsable	del sector de la sociedad que debe ser	Criterio de regulación ecológica
L05	Eliminar la contaminación en cuerpos de agua.	Cinco años.	A015	Se aplicará un programa dirigido al uso y tratamiento adecuado de los desechos generados en todos los ranchos ganaderos, de modo que no se contaminen agua, suelo y aire, en un lapso máximo de cinco años. Con especial atención a los municipios de El Marqués, Colón, Ezequiel Montes, Pedro Escobedo, Amealco, Querétaro y Tequisquiapan.	SEDESU, SAGARPA, SEDEA, INIFAP, SEMARNAT, CONAGUA, CEA, Autoridad municipal	Propietarios, usuarios, Unión Ganadera del estado de Querétaro Centros de Investigación Faunística.	Ley de Aguas Nacionales (01 Diciembre 1992), Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del estado de Querétaro (20 Febrero 2004) y su Reglamento. Ley de Fomento y Desarrollo Pecuario del estado de Querétaro. (04 Febrero 2005) Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (28 Enero 2988). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (08 octubre 2003).
L05	Eliminar la contaminación en cuerpos de agua.	Cinco años.	A016	Se constituirá una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar el 100% de las producidas por el rastro municipal de Corregidora y se elabora composta con los restos de animales para evitar la contaminación de agua y suelo en un lapso máximo de dos años.	SEDESU, CEA, CONAGUA, SAGARPA, SESEQ, SEDEA, Autoridad municipal.	Propietarios y usuarios.	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996).
L05	Eliminar la contaminación en cuerpos de agua.	Cinco años.	A017	Se prohíbe arrojar desechos como estiércol, basura, animales muertos o cualquier otro a cuerpos de agua. El municipio elaborará un reglamento de ecología y sistema de sanciones para quien efectúe estas acciones dentro de un lapso no mayor de un año.	SEDESU, Autoridad municipal, SEMARNAT, CONAGUA, SAGARPA, CEA, SEDEA.	Propietarios usuarios, Unión Ganadera del estado de Querétaro, sociedad en general.	NOM-002-SEMARNAT-1996 (03 JUNIO 1998), NOM-001-SEMARNAT-1996 (24 DICIEMBRE 1996), Reglamento de Bando de Policía y buen Gobierno (30 Junio 2005), Ley de Prevención y Gestión Integral de Residuos del estado de Querétaro (20 Febrero 2004), Ley de Salud para el estado de Querétaro (11 Agosto 2006), Ley de Fomento y Desarrollo Pecuario del estado de Querétaro. (04 Febrero 2005).