

## 5 Propuesta de proyecto para infiltración de agua al acuífero del valle de Querétaro

Hasta ahora se ha integrado la información disponible tanto de estudios que se encuentran específicamente en la biblioteca de la CONAGUA, de las normatividades e información que se encuentra en hojas web.

### 5.1. Situación del acuífero del valle de Querétaro

El manejo del AVQ ha tenido importantes transformaciones derivadas de la necesidad de contar con el vital líquido; como se mencionó en capítulos anteriores el inicio del conocimiento de este acuífero data de 1970, y a través de los años se han presentado diferentes etapas, desde la obtención de datos, la generación de información, el conocimiento de las condiciones tanto superficiales como subterráneas de manera individual y en estos momentos, a partir del decreto estatal sobre el Ordenamiento Ecológico del estado de Querétaro, en el que se dictan una serie de lineamientos, que buscan el conocimiento y ordenamiento del entorno ecológico. **Figura 5.1.**

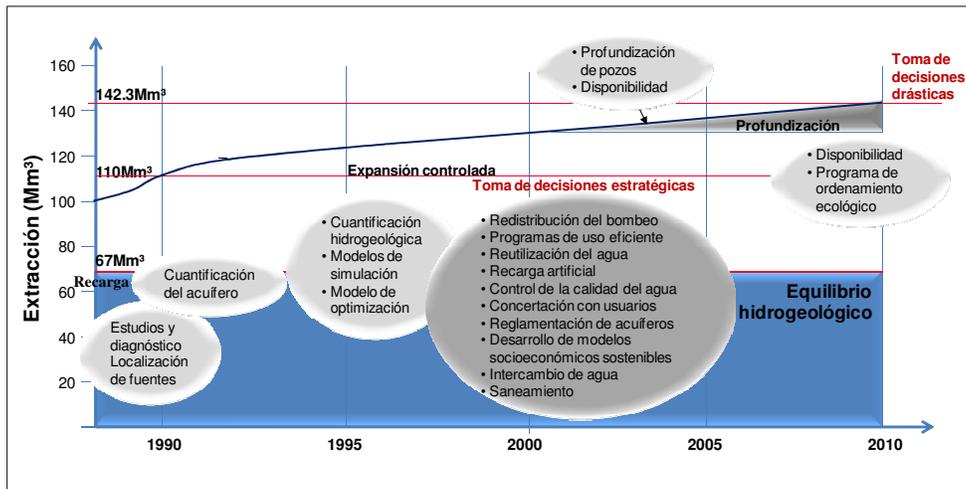


Figura 5.1. Evolución del AVQ en materia de información y toma de decisiones

Sin embargo, la situación del AVQ no implica sólo la generación de lineamientos sino definir y realizar acciones que permitan la sustentabilidad del acuífero. De no tomarse decisiones drásticas la vida de este acuífero pondrá en riesgo el equilibrio ecológico y su sustentabilidad, no solo de la parte de su territorio, sino de los acuíferos aledaños.

Una situación que se observa es la falta de recursos económicos y humanos que enfrenten el reto. Por lo que respecta al factor económico, muchas son las restricciones a nivel federal y estatal, dado que existe una gran variedad de necesidades que cubrir con un presupuesto muy limitado. Por otra parte, la CEA y algunas instancias de gobierno federal y estatal cuentan con personal para enfrentar el reto, es notorio ver la que el personal que ha estado en contacto directo con la evolución del acuífero es la misma, no hay gente nueva que se esté capacitando,

además, el conocimiento generado está más bien en la cabeza de cada uno de los técnicos o enterrada en sus computadoras personales.

Esta situación es recurrente no sólo para el caso actual, sino más bien es de cultura a nivel nacional. No se tiene la capacidad de generar bases de datos integradas, con una taxonomía que permitan identificar y localizar la información en el momento preciso. Lo anterior ocasiona que se tengan que rehacer estudios, retrabajo. Por ejemplo; en el AVQ se han generado por lo menos cuatro modelos de flujo matemático (dos de la CEA, uno de la CONAGUA y otro más de la Universidad Autónoma de Querétaro), de los cuales no se aprovecha su potencial.

Si bien el Ordenamiento Ecológico Estatal es medio para iniciar las acciones, deben considerarse ciertos factores adicionales para que este ordenamiento se lleve a cabo:

- **Conocimiento integral del AVQ.** La evolución acelerada del acuífero así como del crecimiento poblacional, limitan a las instancias de gobierno a plantear programas de sustentabilidad. Por lo anterior es necesario mantener la información del AVQ actualizada y contar con modelos de predicción que permitan plantear escenarios sobre su comportamiento, específicamente sobre:
  - **Agua superficial.** Si bien, con base en la información recopilada no existe disponibilidad de agua superficial; sin embargo, año con año se presentan inundaciones, existe una red de drenaje superficial de drenes y bordos con el propósito de atenuar la problemática. Mucha de esta agua se evapora o bien se conduce hacia la corriente principal para perderse en la cuenca aguas abajo. Sobre este punto, el agua superficial –excedentes- es el recurso viable que permite aminorar la futura escasez del recurso. El volumen medio de escurrimiento natural anual que tiene el AVQ en de  $128.9 \text{ Mm}^3$ . Considerando que de este valor, únicamente el 20% equivale al área urbana, se estima que se cuenta con un volumen del orden de  $26 \text{ Mm}^3$  que podrían utilizarse para infiltración.
  - **Agua subterránea.** El acelerado abatimiento de los niveles de agua subterránea en el AVQ han ocasionado daños a la infraestructura civil, modificaciones a las estructuras geológicas, contaminación y sobre todo, una pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua para sustentar la vida en este acuífero. Se cuenta con una zona drenada y potencial de aprovecharse de más de 50 m de espesor. Con base en la información disponible en el AVQ se genera en volumen medio anual de aguas residuales de  $43.3 \text{ Mm}^3$ . Mismo volumen que con el tratamiento adecuado se podría estar utilizando para la infiltración.
  - **Calidad del agua.** En la medida que los niveles se profundicen los efectos la calidad del agua serán más acentuados, teniendo que invertir –si existe agua a mayor profundidad- en sistemas de tratamiento de agua muy costosos, que en estos momentos no son viables de implantar. Es un parámetro que debe llevar un seguimiento continuo ya que de él depende la salud de la población, la producción agrícola y la industrial. Los contaminantes que potencialmente se pueden encontrar en el AVQ son minerales pesados y compuestos orgánicos, sustancias corrosivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológicas infecciosas, así como fertilizantes y plaguicidas.
  - **Monitoreo continuo de los movimientos diferenciales el terreno y de fallas activas.** Esta situación es de importancia para prevenir riesgos tanto de pérdida de vidas humanas como deterioro de la infraestructura civil urbana.

- **Cultura del agua.** A pesar de que existe, a través de la CEA, un programa de cultura sobre el uso del agua, ésta no ha permeado en los habitantes y en los planeadores de la ciudad. Con base en la información disponible, el equilibrio del acuífero indica que existe un déficit de 74 Mm<sup>3</sup>/año. Para que exista equilibrio deben recuperarse al menos 36 Mm<sup>3</sup>/año, que convertido a personas indica que el AVQ en condiciones de equilibrio ecológico sólo tiene la capacidad de albergar a una población de 500,000 habitantes. Ante la situación actual es necesario plantear una cultura del agua más agresiva.
- **Planeación.** Con base en el punto anterior, es necesario que las autoridades federales y locales marquen un lineamiento sobre el crecimiento que debe llevarse en el territorio del AVQ, y sobre todo proteger las áreas que actualmente no están construidas. A pesar de que existen ocho áreas ecológicas “protegidas”, éstas no se respetan. Lo anterior implica tomar decisiones severas sobre cuál es la perspectiva de sustentabilidad (crecimiento poblacional e industrial) para mantener un equilibrio.
- **Naturaleza.** Los cambios climáticos que se presentan actualmente generan mucha incertidumbre sobre el comportamiento de la naturaleza, si bien la temperatura se está incrementando, el comportamiento del agua es incierto, las condiciones climáticas son variables, lo que sí es una realidad es que al actual crecimiento que tiene el AVQ no habrá disponibilidad de agua a mediano plazo.
- **Costo del agua.** En la medida de que el agua sea más escasa (por encontrarse a mayor profundidad o bien por falta de precipitación) el costo será mayor. Se tiene planeado acarrear el agua de otras áreas (Extoraz y El Batán), la experiencia que se tiene con la capital del país es un ejemplo de lo que no debe hacerse, ya que por tratar de mitigar una situación local se ocasionan daños más graves a los entornos externos. Es necesario replantear un equilibrio interno sobre el manejo del recurso y sobre todo darle el valor real al recurso.
- **Preparación de personal técnico.** Las personas son las que generan el conocimiento, para el caso del agua, se requiere contar con personal capacitado para que maneje el recurso y tome las decisiones adecuadas. Es necesario llevar programas de actualización permanente del personal que enfrente hoy la problemática y sobre todo, formar nuevas generaciones de técnicos para que enfrenten el reto con los conocimientos adecuados.
- **Marco legal.** Es necesario tomar medidas de carácter legal en cuanto al uso del suelo: limitar el crecimiento urbano y mantener la actual área agrícola.

Bajo esta perspectiva, es necesario buscar alternativas que permitan sostener el crecimiento poblacional e industrial y sobre todo mantener la producción agrícola, específicamente las zonas de cultivo

Con base en el proceso planteado en el capítulo 4 sección 4.8, en la información disponible -capítulo 2-, en la interpretación y aplicación de la normatividad -capítulo 3-, en este capítulo se procede a realizar la propuesta para infiltrar agua en el AVQ. Sin embargo, primero es necesario plantear la estrategia sobre el manejo integral del agua.

La propuesta se basa en el planteamiento de actividades y obtención de datos e información que se requiere, de la cual se adolece de bastante, sin embargo, con fines de favorecer el proceso de infiltración y recarga al acuífero, se plantean algunas acciones y obras de ingeniería.

Se retoman los factores que deben considerarse dentro del proceso, (clima, geología, superficie, tenencia y uso de la tierra, morfología, topografía, calidad del agua, costo, administración y jurisprudencia), los cuales son vitales y están enfocados al aprovechamiento óptimo del agua de escurrimiento excedente, producto tanto de las aguas de lluvias como de las aguas provenientes de los pozos profundos. Como

beneficios adicionales están: el reuso, la recarga al acuífero, la reducción de la evaporación y evitar la pérdida de suelos.

En la **Figura 5.2** se describen los cambios que debe promoverse en el AVQ para que sea sustentable.

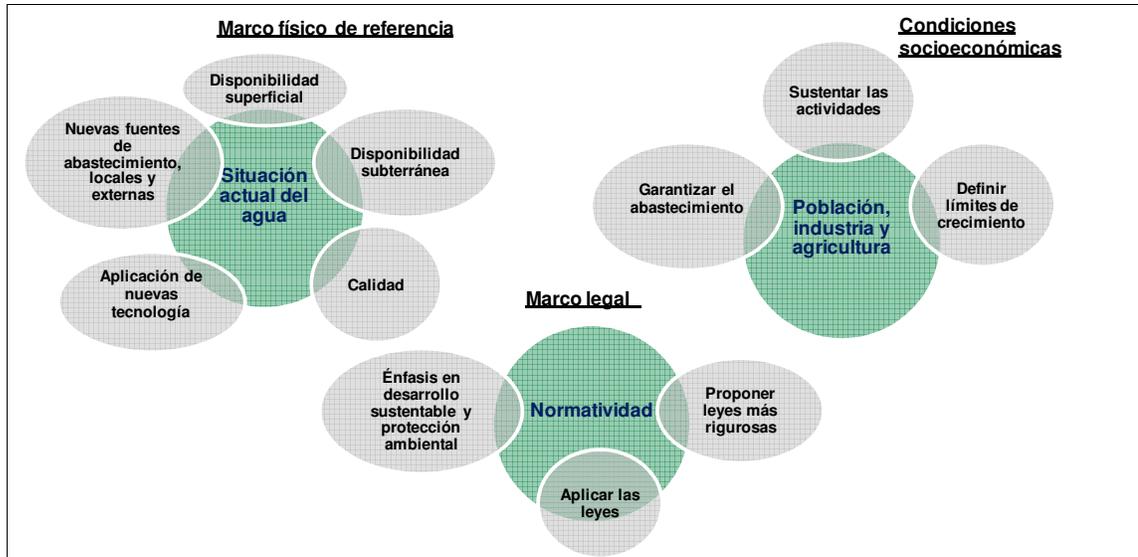


Figura 5.2. Elementos del entorno que inciden en el AVQ

Una de las primeras conclusiones que se pueden inferir de la figura es la mayor complejidad de los proyectos por realizar en el futuro, lo que implica que su costo se irá incrementando de acuerdo a la complejidad que se presente.

Es un hecho que se requerirá poner mayor atención en los temas de uso eficiente del recurso, lo que implica la necesidad de invertir en capacitación del personal que enfrente el reto del cambio climático, así como en materia de relaciones con la comunidad para hacer concertaciones que garanticen una afinidad entre las instancias responsables del agua y la sociedad.

Asimismo, se deberán fortalecer los esquemas de supervisión de la evolución del AVQ, así como generar un programa de comunicación más agresivo sobre el uso y manejo del agua.

## 5.2. Ciclo de vida del acuífero del valle de Querétaro

El ciclo de vida de un acuífero inicia en la etapa de exploración, pasa a desarrollo (perforación) y producción (abastecimiento); en la medida que pasa el tiempo y se incrementan las actividades socioeconómicas aumenta la necesidad de contar con mayor cantidad de agua. Se llega a un punto de desequilibrio donde la extracción supera en demasía la recarga, situación que requiere de perforar a mayor profundidad –si las condiciones son favorables- para mantener o incrementar la producción y se llega al límite técnico donde la tecnología no es suficiente o bien el acuífero llegó al basamento. Para el caso del AVQ se estima se encuentra en estos momentos en etapa de profundización muy cerca de llegar al límite técnico. **Figura 5.3**

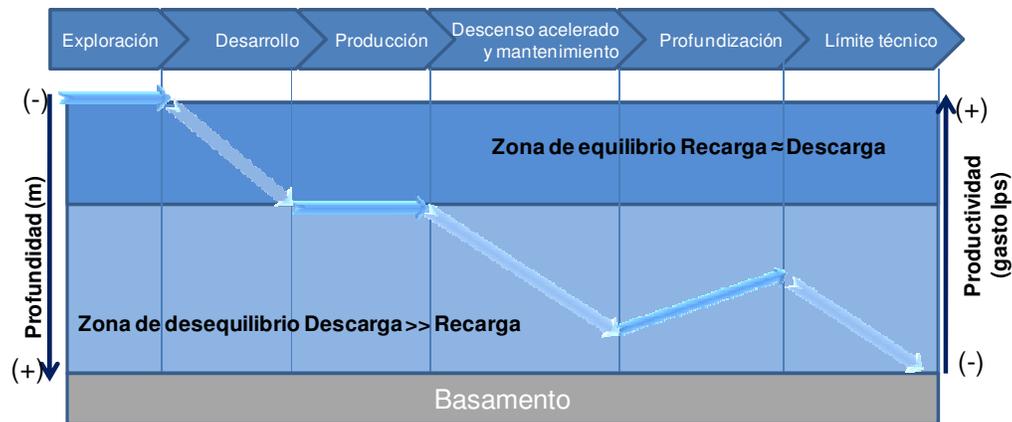


Figura 5.3. Ciclo de vida de un acuífero

### 5.3. Estrategia para el rescate del acuífero del valle de Querétaro

La historia ha mostrado que a pesar de haber realizado una infinidad de estudios de factibilidad hidrogeológica, estudios de exploración geológica y geofísica, perforaciones de pozos, estudios de calidad del agua, identificación de zonas vulnerables y de riesgo, no se cuenta con el conocimiento integral del comportamiento del AVQ, lo anterior reduce la oportunidad de:

- Planear las necesidades en el corto, mediano y largo plazo del recurso.
- Ordenar el crecimiento de las ciudades.
- Dar continuidad a proyectos.
- Prevenir riesgos.
- Tomar decisiones oportunas sobre el uso, manejo y distribución del recurso.

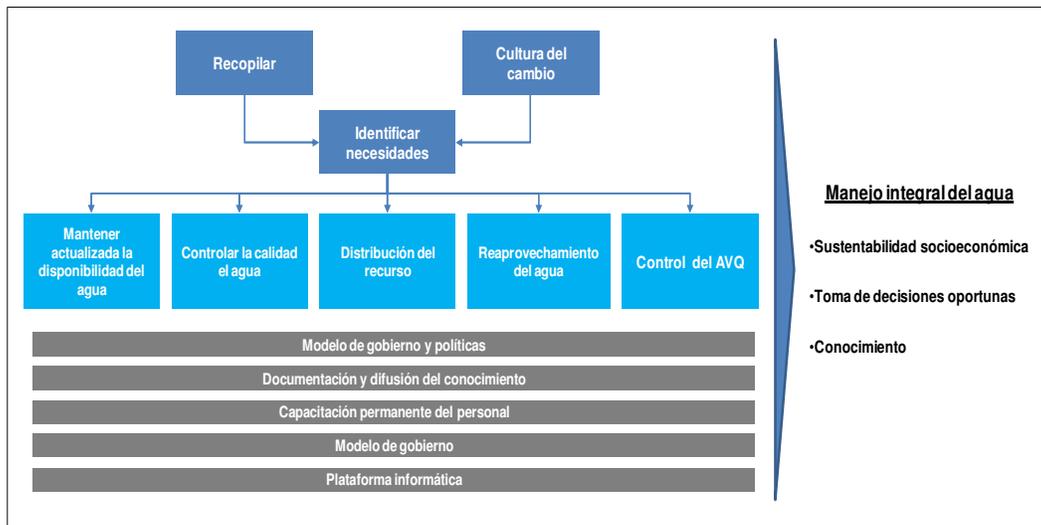
Por otra parte, en la **Tabla 5.1** se plantean algunas de las situaciones que no permiten el logro de los objetivos en materia del recurso agua.

La estrategia para el rescate del AVQ se enfoca en el establecimiento de una sola directriz, **el manejo ordenado del recurso agua**, haciendo énfasis en la información generada a la fecha, que es la base para conformar el contexto hidrogeológico, el cambio de cultura sobre el uso del agua y la identificación de necesidades actuales y futuras de agua. **Figura 5.4.**

El manejo integral requiere de una serie de acciones concretas que permitan mantener el conocimiento de la situación que guarda el agua en el AVQ, por lo que también es necesario contar con el apoyo de la población, de técnicos especialistas, de tecnología actualizada y de procesos. Además, se requiere de establecer un programa de comunicación que concientice a la gente, así como el desarrollo de políticas sobre su uso y gobernabilidad para que el agua sea sustentable. Todo lo anterior debe estar integrado en una plataforma informática que permita visualizar la información y sea la herramienta donde se documenten las acciones y sustente la toma de decisiones.

**Tabla 5.1 Nuevo enfoque sobre la estrategia del manejo del AVQ**

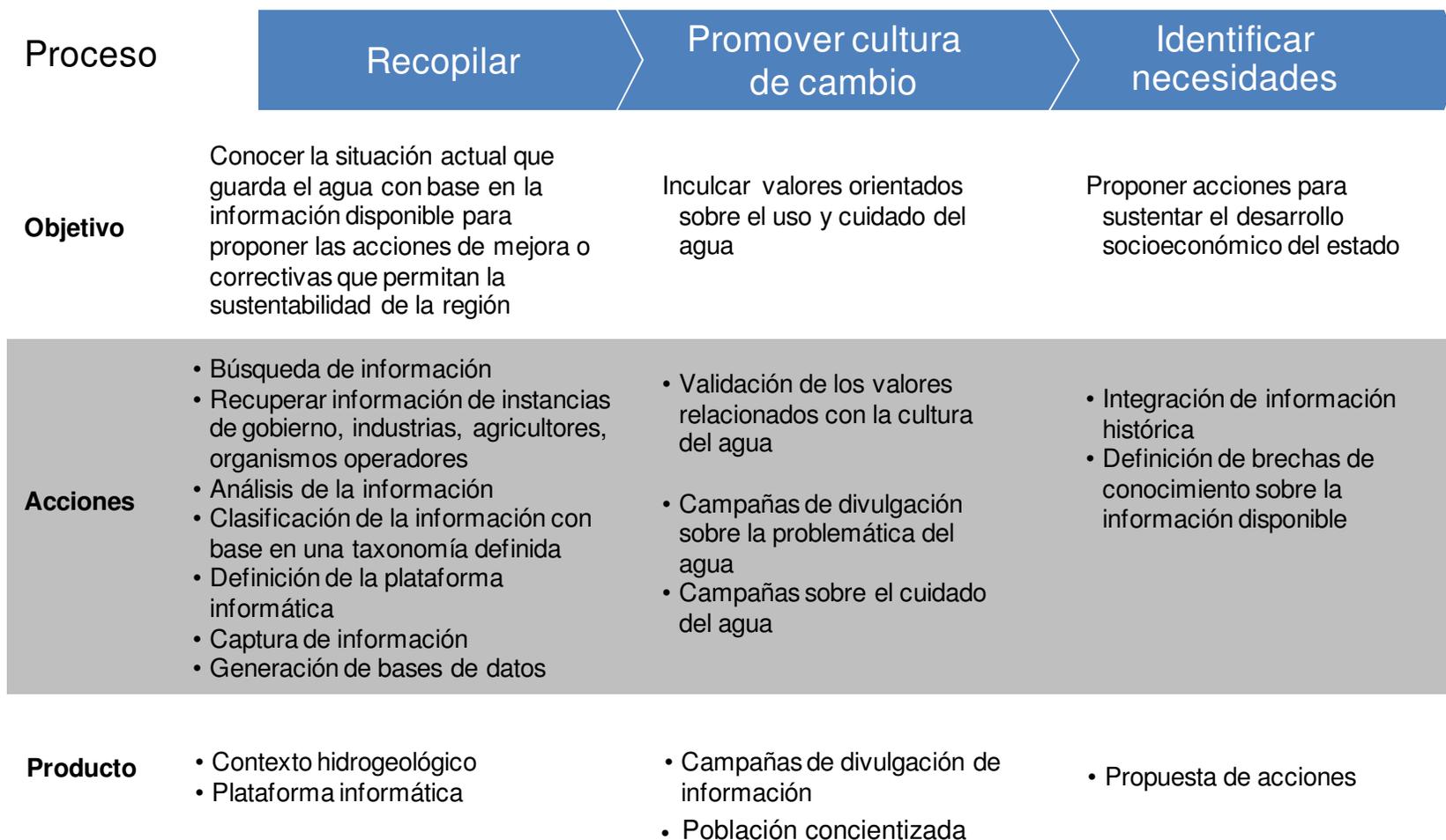
Situación actual	Enfoque propuesto
Proliferación de estudios de factibilidad que sirven sólo para cubrir el requisito para la perforación de pozos.	➔ Contar un proceso que permita la toma de decisiones sobre perforar o no pozos, así como garantizar un caudal mínimo esperado.
Perforaciones de pozos sin control de las actividades que se realizan y con información limitada de su construcción.	➔ Documentar la perforación con base en un proceso donde se incluya el corte litológico del pozo con análisis petrográfico, registro de pozo de cuando menos nueve curvas, procesado e interpretado. Reforzar o replantear la norma NOM-003-CONAGUA-1996.
Falta de un proceso para el manejo integral del agua en el estado de Querétaro.	➔ Formalizar el plan para el manejo integral propuesto, basado en la disponibilidad del recurso.
Personal con conocimientos hidrogeológicos que no ha tenido la actualización requerida.	➔ Establecer planes de seguimiento y capacitación del personal actual y preparar a nuevos técnicos.
No hay una instancia responsable de la toma de decisiones en materia de agua.	➔ Reasignar responsabilidades a los COTAS y establecer un cuerpo de gobierno independiente a las decisiones de tipo político.
No hay continuidad en los proyectos ni recursos económicos suficientes.	➔ Contar con un Centro de Control del AVQ donde se concentren los datos, información y conocimiento y se generen los proyectos.
No se documentan las acciones que se realizan sobre el agua.	➔ Contar con un proceso de administración del conocimiento que permita identificar, seleccionar, capturar, resguardar, aprovechar y evaluar el conocimiento que se genere sobre el uso y manejo del agua.



**Figura 5.4. Modelo de manejo integral del agua para AVQ**

Para aterrizar la estrategia es necesario atacar sobre varios frentes, a continuación se propone el proceso.

5.4.2. Proceso para definir el modelo de manejo del agua en el acuífero del valle de Querétaro



5.4.2. Acciones e implicaciones para desarrollar el modelo de manejo del agua

Subproceso	Acción	Implicaciones
<p><b>Mantener actualizada la disponibilidad del agua</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustentar el desarrollo económico del AVQ con base en la disponibilidad del agua, haciendo hincapié en los acuíferos de Querétaro y San Juan del Río – Pedro Escobedo, que por su ubicación geográfica y por la importancia que tienen en estos momentos en el entorno socioeconómico demandan más agua.</li> <li>• Proponer acciones inmediatas, a mediano y largo plazo que permitan un manejo ordenado del recurso.</li> <li>• Actualizar:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Censo de captaciones para conocer la situación de obra de las captaciones.</li> <li>○ Configuración piezométrica para conocer la posición del nivel del agua.</li> <li>○ Hidrometría para conocer los volúmenes de extracción</li> </ul> </li> <li>• Calibrar la geometría del acuífero con base en la información geofísica de estudios de factibilidad hidrogeológica y con cortes litológicos de los pozos perforados.</li> <li>• Actualizar los balances tanto de agua subterránea así como superficial, donde además de la información anterior se requiere de información:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Climatológica (precipitación, escurrimiento, temperatura y evaporación).</li> <li>○ Determinar el valor del volumen de evapotranspiración.</li> <li>○ Calibrar el valor de infiltración.</li> </ul> </li> <li>• Definir y proteger las áreas definidas como zonas de recarga.</li> <li>• Identificar nuevas fuentes de abastecimiento, ya sea en áreas diferentes o bien investigando a mayor profundidad.</li> <li>• Conocer los planes de desarrollo a nivel federal, estatal y municipal.</li> <li>• Mantener actualizado el modelo matemático de flujo hidráulico subterráneo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar estudios geológicos y geofísicos de detalle, con base en el desconocimiento del área por estudiar (de acuerdo a las necesidades).</li> <li>• Realizar estudios de actualización de censo (anual).</li> <li>• Realizar campañas de medición de niveles y pruebas de bombeo (anual).</li> <li>• Realizar campañas hidrométricas (anual).</li> <li>• Conocer los planes de desarrollo.</li> <li>• Conocer las necesidades de agua de los usuarios (población, industria, agricultura, servicios).</li> <li>• Contar con información estadística de crecimiento poblacional (anual).</li> <li>• Crear o replantear los modelos de flujo hidráulico de los acuíferos (único).</li> <li>• Actualizar los modelos de flujo hidráulico de los acuíferos (anual).</li> <li>• Capturar la información en la plataforma informática definida o desarrollada (permanente).</li> <li>• Contar con información veraz de estaciones climatológicas (permanente).</li> <li>• Ubicar estaciones climatológicas o hidrométricas donde se adolezca de información (de acuerdo a las necesidades).</li> <li>• Construir infraestructura para estaciones hidrométricas (única).</li> <li>• Investigar, probar y validar la aplicación de nuevas tecnologías y metodologías (permanente).</li> <li>• Capacitación de personal.</li> </ul>

Subproceso	Acción	Implicaciones
 <p><b>Controlar la calidad del agua</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los contaminantes potenciales naturales o inducidos que pueda tener el agua subterránea o superficial</li> <li>• Desarrollar o actualizar el modelo matemático de transporte de contaminantes para conocer su dispersión.</li> <li>• Analizar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas mediante análisis de laboratorio específicos.</li> <li>• Proteger las fuentes de abastecimiento.</li> <li>• Conocer la salinidad del suelo de la zona agrícola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar estudios convencionales y específicos en laboratorios sobre la calidad del agua. (anual)</li> <li>• Identificar los contaminantes que incidan en la salud o producción agrícola e industrial (único).</li> <li>• Crear modelos de transporte de contaminantes.</li> <li>• En las zonas agrícolas para determinar la presencia de pesticidas, fungicidas y fertilizantes (anual).</li> <li>• Desarrollar campañas de concientización a la población sobre la protección de fuentes.</li> <li>• Desarrollar infraestructura para la protección de fuentes.</li> <li>• Realizar estudios geológicos y geofísicos para identificar la geometría de plumas de contaminación.</li> <li>• Realizar estudios directos e indirectos para definir las condiciones del suelo.</li> <li>• Realizar estudios geotécnicos y de medio ambiente.</li> </ul>

Subproceso	Acción	Implicaciones
 <p><b>Distribución del recurso</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener actualizados los planos de las redes.</li> <li>• Identificar los sitios donde se presentan fallas en la red de distribución.</li> <li>• Identificar zonas donde no llega el recurso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planos de redes de distribución de agua superficial y subterránea actualizados (permanente).</li> <li>• Estudios para identificar fugas en redes de agua potable (cuando se presenten caídas de presión en las redes).</li> </ul>

Subproceso	Acción	Implicaciones
<p><b>Reaprovechamiento del agua</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar los volúmenes de agua residual de origen urbano e industrial.</li> <li>• Conocer la calidad de las aguas residuales.</li> <li>• Identificar usuarios de aguas residuales (industrias o agricultores).</li> <li>• Identificar zonas de inundación</li> <li>• Proponer intercambios de agua potable por agua residual.</li> <li>• Ubicar plantas de tratamiento en sitios estratégicos, cercanos a sitios donde se aprovechará o infiltrará.</li> <li>• Conducir el agua residual a sitios donde sea útil (pozos de infiltración, riego o industrias).</li> <li>• Diseñar los pozos de infiltración.</li> <li>• Realizar estudios para definir zonas favorables para la infiltración y realizar pruebas directas e indirectas de infiltración.</li> <li>• Proponer la metodología, con base en la normatividad, para la infiltración de las aguas residuales o de lluvia.</li> <li>• Cuantificar los volúmenes de lluvia que se pueden aprovechar de los techos de casa, edificios e industrias.</li> <li>• Proponer el diseño de construcción de nuevos conjuntos habitacionales donde se consideren de drenaje (pluvial y de desechos público-urbano).</li> <li>• Cuantificar los volúmenes de aguas de lluvia y definir qué aprovechamiento se les puede dar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar estudios de cuantificación de volúmenes de agua residual (permanente).</li> <li>• Realizar estudios fisicoquímicos de las aguas residuales (anual).</li> <li>• Realizar estudio para identificar a los usuarios potenciales de aguas residuales (único).</li> <li>• Construir la infraestructura para la conducción de aguas residuales a los sitios (con base en las necesidades).</li> <li>• Realizar estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos para conocer la factibilidad de infiltrar agua residual o de lluvia (único).</li> <li>• Construir la infraestructura para la infiltración (pozos, presas, gaviones, canales, etc.)(con base en la disponibilidad).</li> <li>• Realizar estudios para cuantificar el agua de lluvia aprovechable de la infraestructura civil (permanente).</li> <li>• Campaña de difusión sobre el reaprovechamiento del agua (permanente).</li> <li>• Proponer la normatividad para la construcción de inmuebles para aprovechar las aguas de lluvia (con base en el crecimiento).</li> <li>• Definir las características de la zona drenada y conocer la capacidad de transmisión del agua al acuífero (único).</li> </ul>

Subproceso	Acción	Implicaciones
<div data-bbox="138 354 472 876" style="background-color: #4a86e8; color: white; padding: 20px; text-align: center; font-weight: bold;">Control del acuífero</div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redefinir la red de pozos piloto.</li> <li>• Instrumentar:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tomas de agua para uso potable, agrícola e industrial.</li> <li>○ Pozos para conocer los volúmenes de extracción y calcular los volúmenes.</li> <li>○ Construir la red de pozos piloto para conocer la posición de los niveles estático y dinámico</li> <li>○ Estaciones climatológicas.</li> <li>○ Aforos de los cauces principales de las corrientes superficiales para cuantificar el escurrimiento.</li> <li>○ Medición de los volúmenes de las presas y bordos.</li> </ul> </li> <li>• Definir el tipo de monitoreo que se llevará en cada uno de los acuíferos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar estudio para definir los sitios donde se carece de información piezométrica (único).</li> <li>• Estudio para definir el estado de los medidores.</li> <li>• Adquirir de medidores de flujo para empresas y agricultores (único).</li> <li>• Reemplazar de medidores (de acuerdo a la vida útil y estado físico).</li> <li>• Adquirir estaciones climatológicas (único).</li> <li>• Crear la infraestructura civil para la colocación de las estaciones (única).</li> <li>• Realizar estudio para aforar corrientes superficiales (anual).</li> <li>• Construir pozos piloto (con base en el comportamiento de los niveles del agua subterránea).</li> </ul>

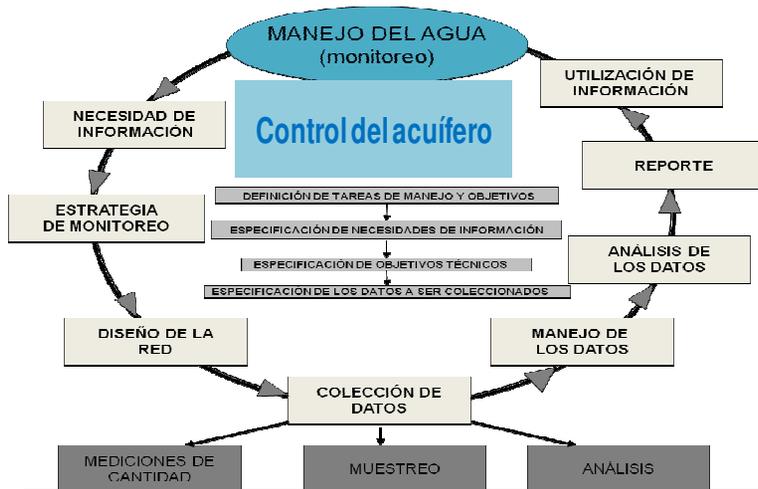


Figura 5.5. Proceso para llevar el monitoreo del agua subterránea del AVQ

Subproceso	Acción	Implicaciones
<p><b>Capacitación de personal</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizar en el conocimiento del agua al personal que actualmente tiene la responsabilidad.</li> <li>• Preparar gente para que adquiera competencias sobre el manejo del agua.</li> <li>• Medir las competencias del personal que actualmente está a cargo del manejo del agua.</li> <li>• Crear el plan de carrera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pagar cursos de actualización (permanente).</li> <li>• Pagar estudios de posgrado (permanente).</li> <li>• Estudio para definir competencias (único).</li> <li>• Estudio para proponer plan de carrera y reemplazo (único).</li> </ul>
Subproceso	Acción	Implicaciones
<p><b>Redefinir actividades de los COTAS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar brechas y áreas de oportunidad para los responsables de los COTAS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planteamiento de responsabilidades.</li> </ul>
Subproceso	Acción	Implicaciones
<p><b>Documentación y difusión del conocimiento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificar y resguardar el conocimiento.</li> <li>• Desarrollar el medio para consultar y transferir el conocimiento.</li> <li>• Medir el impacto del conocimiento.</li> <li>• Elaborar los manuales de procedimientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear taxonomía del conocimiento.</li> <li>• Desarrollar plataforma informática.</li> <li>• Crear motor de búsqueda de información.</li> </ul>

Para aplicar este modelo también es necesario considerar la efectividad organizacional orientada a la mejora de procesos, implantación de sistemas de soporte, fortalecimiento de la cultura organizacional, revisión de la estructura organizacional (CONAGUA, SAGAR, CONAFOR CEA, instancias de gobierno, desarrolladores, industria), así como la comunicación integral.

Igualmente, es importante fortalecer y consolidar los sistemas y tecnologías existentes que hayan probado su efectividad, promoviendo los cambios y mejoras que resulten necesarios, así como plantear el desarrollo e introducción de nuevos sistemas que estén plenamente justificados.

Del modelo de la estrategia se derivan entregables que permitirán atender las necesidades y retos.

#### 5.4.2. Productos de la estrategia

Del modelo de la estrategia se derivan una serie de proyectos y acciones que permitirán atender las necesidades y retos, entre los que destacan, **Tabla 5.2.**

**Tabla 5.2. Productos de la estrategia para el AVQ.**

Acciones estratégicas	Productos	Acciones propuestas en el Ordenamiento Ecológico del estado de Querétaro
1. <b>Mantener actualizada la disponibilidad del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de cuantificación de agua superficial y subterránea.</li> <li>• Balance integral de aguas.</li> <li>• Modelo de flujo y de transporte actualizado.</li> <li>• Disponibilidad publicada en el Diario Oficial de la Federación.</li> </ul>	
2. <b>Controlar la calidad del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de calidad del agua.</li> <li>• Definición de zonas por contaminación antropogénica o natural.</li> <li>• Programa de mitigación de la contaminación.</li> <li>• Protección de fuentes.</li> <li>• Modelo de flujo y de transporte actualizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A007, A008, A010, A011, A012, A015, A016, A017</li> </ul>
3. <b>Reaprovechamiento del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de cuantificación de aguas residuales.</li> <li>• Estudios para definir a usuarios potenciales del agua residual.</li> <li>• Identificar zonas de inundación.</li> <li>• Identificar zonas de riesgo por conducción de agua torrencial.</li> <li>• Estudio para recargar al acuífero.</li> <li>• Diseño de la infraestructura para infiltrar agua.</li> <li>• Estudio para identificar fugas en redes de agua potable y alcantarillado.</li> <li>• Construcción de obras de ingeniería para el abastecimiento y recolección de aguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A001, A002, A004, A005, A006, A008</li> </ul>

Acciones estratégicas	Productos	Acciones propuestas en el Ordenamiento Ecológico del Estado de Querétaro
4. <b>Control del acuífero</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios de monitoreo del acuífero.</li> <li>• Construir piezómetros o pozos de observación.</li> <li>• Mantener actualizada la red de pozos piloto.</li> <li>• Instrumentar o incrementar la red de pozos piloto.</li> <li>• Colocar medidores de flujo.</li> <li>• Instrumentar un sistema de medición periódica de volúmenes de extracción.</li> <li>• Programas de uso eficiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A003</li> </ul>
5. <b>Capacitación del personal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cursos de capacitación (diplomados).</li> <li>• Cursos de maestría.</li> <li>• Cursos de doctorado.</li> <li>• Estudio para definir las competencias del personal actual que realiza actividades relacionadas con el AVQ.</li> </ul>	
6. <b>Redefinir actividades de los COTAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio para plantear más atribuciones y responsabilidades a los COTAS para el resguardo de la información y toma de decisiones.</li> <li>• Definir al responsable del manejo del AVQ.</li> </ul>	
7. <b>Documentación y difusión del conocimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrumentar el proceso de administración del conocimiento.</li> <li>• Sistema de información geográfico</li> </ul>	

#### 5.4.2. Factores críticos de éxito para el logro de la estrategia

Los factores críticos de éxito para impulsar el replanteamiento de la estrategia incluyen como mínimo lo siguiente:

- Patrocinio de la CONAGUA, SAGAR, CONAFOR, Gobierno del Estado, Municipios de Querétaro, Villa Corregidora y El Marqués, industriales, inmobiliarias y agricultores.
- Simplificación de las normas que dificultan el cumplimiento de las acciones estratégicas del manejo del agua.
- Coordinación de actividades entre los entes participantes.
- Asignación de recursos financieros para el desarrollo de los proyectos.
- Forma de contratación de los servicios.
- La Ley de Obra Pública.

- El proyecto requiere de la participación de varias empresas y una coordinadora de las actividades mientras se instrumenta el modelo.

#### 5.4.2. Políticas

Para lograr los objetivos es necesario contar con políticas que establezcan los límites de actuación de los diferentes participantes, por lo que se hace necesario plantear, proponer y autorizar políticas orientadas a:

- Gobernabilidad del manejo del recurso.
- Responsabilidades de los participantes.
- Uso del agua.
- Manejo del agua.

### 5.4. Información necesaria para aplicar el proceso de infiltración en el acuífero del valle de Querétaro

Muchos trabajos se han desarrollado para realizar actividades y acciones para recarga de acuíferos de manera particular, dependiendo de necesidades individuales. En este trabajo se conceptualiza la situación tratando de dar una solución global a la problemática de recarga del AVQ.

De acuerdo al planteamiento hecho en el capítulo 4 sobre el proceso de infiltración, **Figura 5.6**, el cual va acorde a la estrategia, se procede a proponer algunos proyectos.

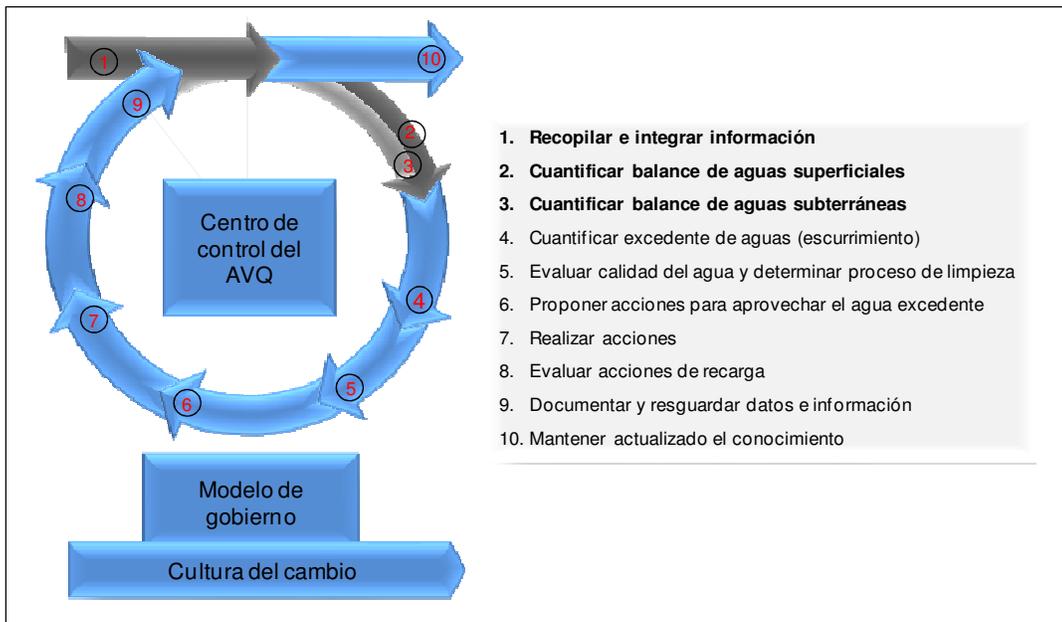


Figura 5.6. Modelo para infiltrar agua

En el **Anexo 1** se lista la relación mínima de información que debe considerarse para evaluar la recarga y hacer la propuesta de infiltración en las zonas favorables. Se utiliza un criterio para clasificar la cantidad de información disponible en cuanto a su cantidad. Se consideran cinco valores de 0 a 4: No hay (0), Escasa (1), Razonable (2), Necesaria (3) y Suficiente (4), así como las acciones para contar con ella en el mediano plazo.

Una vez planteada la información necesaria y con base en la información disponible se hace una propuesta de actividades paralelas adicionales, para favorecer la recarga del acuífero.

Una situación que se presenta específicamente en la parte de correspondiente al suelo, es que una vez que se satura se vuelve impermeable y se facilita su transporte hacia zonas de baja topografía, ocasionando problemas como los ya mencionados en los capítulos anteriores y sobre todo favorece la evapotranspiración.

Para este trabajo se intenta realizar las acciones y obras debajo de esta capa, con el propósito de acelerar el traslado del agua al subsuelo y reducir la evapotranspiración y escurrimiento.

Es un hecho que no es posible, en estos momentos conocer los volúmenes excedentes de agua superficial, producto de la precipitación y agua residual; sin embargo se estima un valor con base en la superficie que se ha vuelto impermeable y con base en el volumen de agua residual que se genera por la extracción de agua de pozos, los cuales se consideran como parte del sistema del acuífero. En la **Figura 5.7** se presenta un esquema idealizado sobre cómo aprovechar el agua de lluvia y residual en el AVQ.

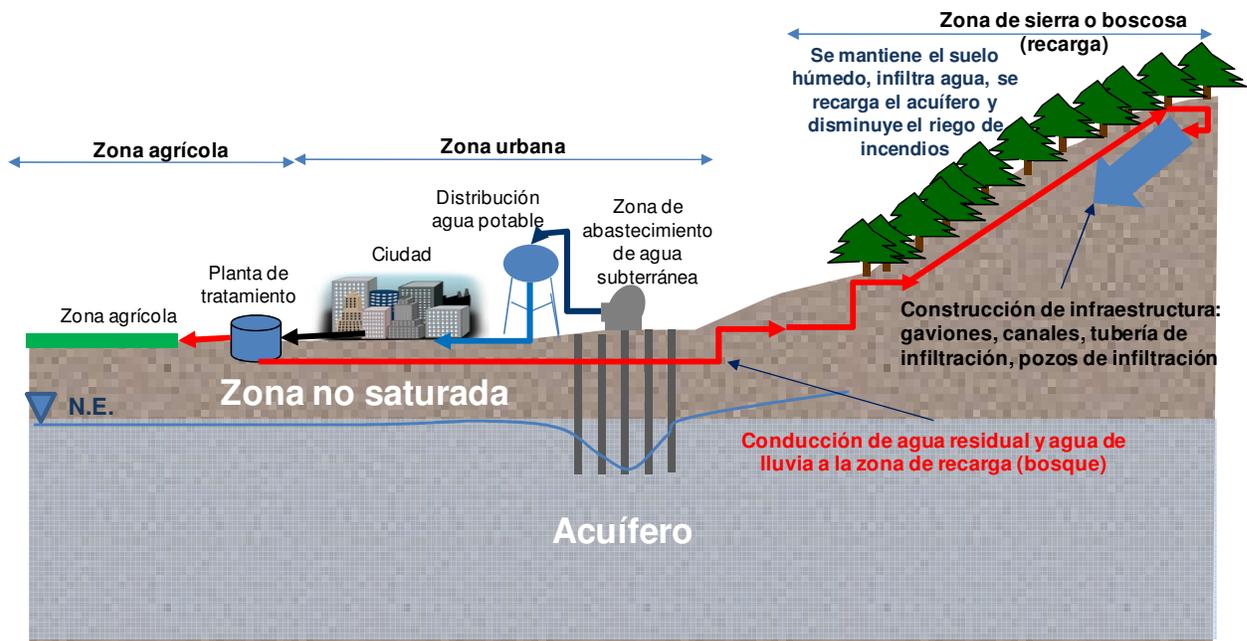


Figura 5.7 Esquema idealizado para aprovechar el agua de lluvia y residual en el AVQ

Con la información que se cuenta se plantean 7 proyectos que cubren la superficie del AVQ:

- El primero se localizan zonas favorables para llevar a cabo proceso de infiltración, lo cual consistió en identificar la profundidad del nivel estático, zonas bajas topográficamente donde se acumule el agua, se identificaron algunas zonas agrícolas y en donde se propone realizar estudios de evaluación (zona agrícola).
- El segundo se ubica los principales bordos donde se acumulan volúmenes importantes de agua. Al localizarse la mayoría de los bordos en zona federal, facilita el desarrollo de obras civiles para dicho proyecto. Se van a respetar cualquier tipo de reserva.
- El tercero se orienta a la zona urbana, donde se plantea implementar un sistema de captación para el escurrimiento del agua pluvial de los techos de las casas y de las calles, aprovechar el agua de pluvial para llevar a cabo el proceso de infiltración.
- El cuarto es una investigación a través de la aplicación de métodos indirectos (geofísica) para conocer el movimiento del agua en el subsuelo así como estimar las características hidráulicas más reales posibles.
- El quinto se orienta a las zonas altas donde se propone disminuir la velocidad del agua para evitar la conducción de sólidos a las zonas bajas y evitar problemas de azolve de la red de drenaje, esto también ocasionaría que el suelo sea susceptible a erosionarse mas rápidamente.

#### 5.4.1. Proyecto caracterización de la zona drenada

Este proyecto consiste en localizar zonas fuertemente abatidas en donde el nivel estático tenga un espesor de 100 metros o más para llevar a cabo el proceso de infiltración, se hizo un análisis geomorfológico para identificar los principales escurrimientos así como las zonas de inundación en la superficie del área del acuífero, contar con una sección geológica en donde se muestren las unidades que van a intervenir en el proceso de infiltración, para evitar alguna unidad impermeable, verificar el espesor de la unidad receptora y conocer sus características hidrogeológicas. También es importante tomar en cuenta el uso de suelo, por lo que se consideró que las zonas se localizaran en zonas especialmente agrícolas o en su defecto conjuntos habitacionales en desarrollo.

Con base en la información geológica e hidrogeológica en el AVQ la zona drenada va de los 30m en la zona del Tlacote, a los 130m en zona agrícola y 160m en la zona industrial Benito Juárez.

Las condiciones geológicas indican la presencia de sedimentos vulcanolacustres con intercalaciones de basalto. En la zona a lo largo del río Querétaro, específicamente en Santa María Magdalena hay un acuífero colgado que se alimenta con los escurrimientos superficiales que transitan por el río. Es el área donde la pendiente es mínima del orden del 3%.

Los sedimentos vulcanolacustres en condiciones de saturación presentan una conductividad hidráulica horizontal de 0.032 a 1 m por día, se estima que la conductividad vertical sea del orden de una o dos magnitudes menores a la horizontal. Sin embargo, la presencia de basalto fracturado acelera el movimiento del agua al subsuelo y de no conocer su distribución el agua producto del escurrimiento puede llegar directamente al acuífero.

Una forma para evaluar las condiciones del medio geohidrológico es a través del conocimiento de las propiedades hidráulicas, a través de pruebas de bombeo o pruebas *Slug*. Esta consideración involucra que el medio se encuentre saturado. Los problemas que se visualizan son que el resultado es en forma puntual o local, no permitiendo conocer las variaciones laterales y a profundidad y que la zona a evaluar es la zona no saturada (2002 Fitts).

Una alternativa para conocer el comportamiento de la zona drenada es a través de una exploración geofísica aplicando la técnica de imagen eléctrica bi, tridimensional y en cuatro dimensiones (tiempo), con la cual se puede monitorear el movimiento del agua en el medio no saturado.

Para el caso que nos ocupa, el nivel estático del AVQ se encuentra debajo de los 100 m, la aplicación del método geofísico sería para conocer las condiciones de los primeros 50 m, como complemento de la información disponible.

- **Objetivos**

- Definir el comportamiento eléctrico de la zona drenada y asociarlo a los eventos geológicos
- Identificar zonas con permeabilidad e impermeabilidad.
- Conocer el espesor del horizonte donde se lleva a cabo el proceso de evapotranspiración

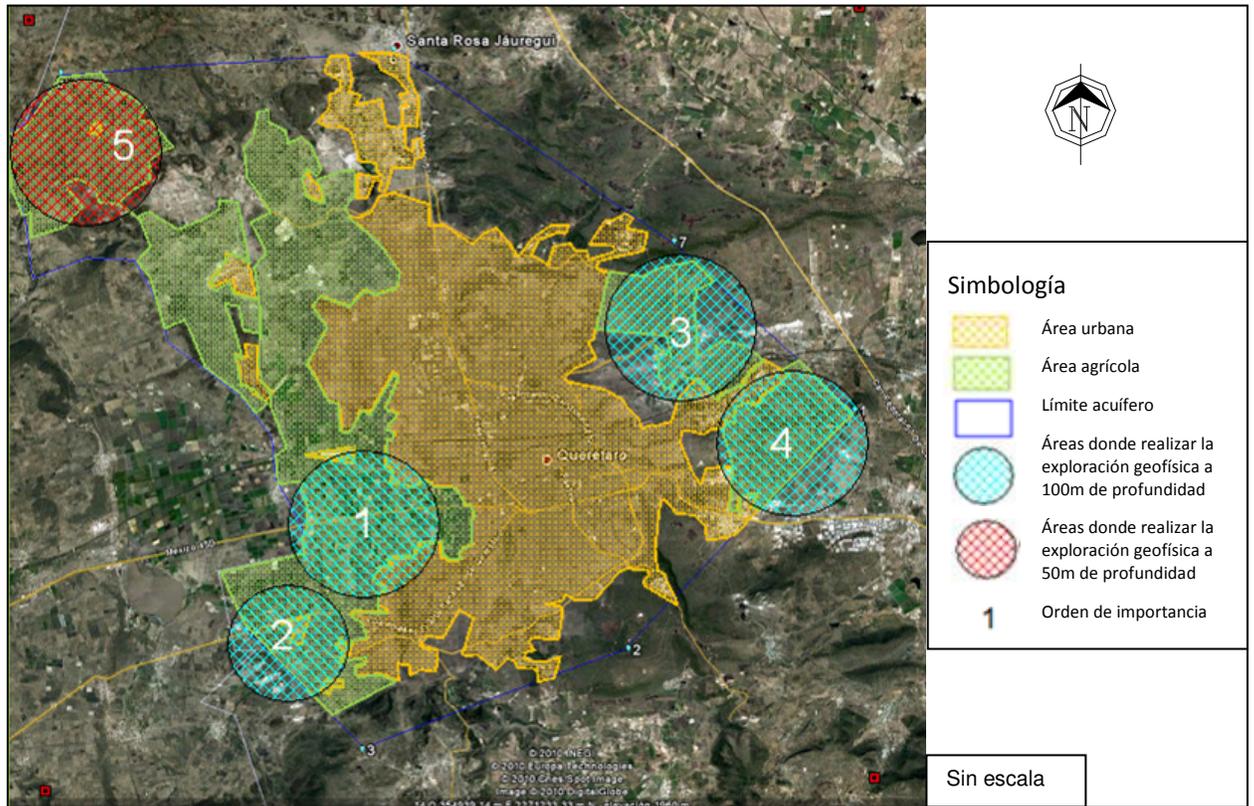
- **Alcances**

Los resultados del estudio permitirán ubicar las zonas más favorables para realizar la infiltración y detallar las obras de ingeniería civil que deberán realizarse, así como la identificación de zonas de reserva ecológica para inyectar el agua al subsuelo.

Con base en la superficie estudiada, el espesor drenado, la conductividad hidráulica vertical, disminuir el abatimiento anual del acuífero, dimensionar la capacidad de almacenamiento de agua en las áreas por estudiar.

- **Áreas de estudio**

En la **Figura 5.8** se definen las áreas



**Figura 5.8** Áreas para realizar imagen eléctrica (Google Earth, 2009)

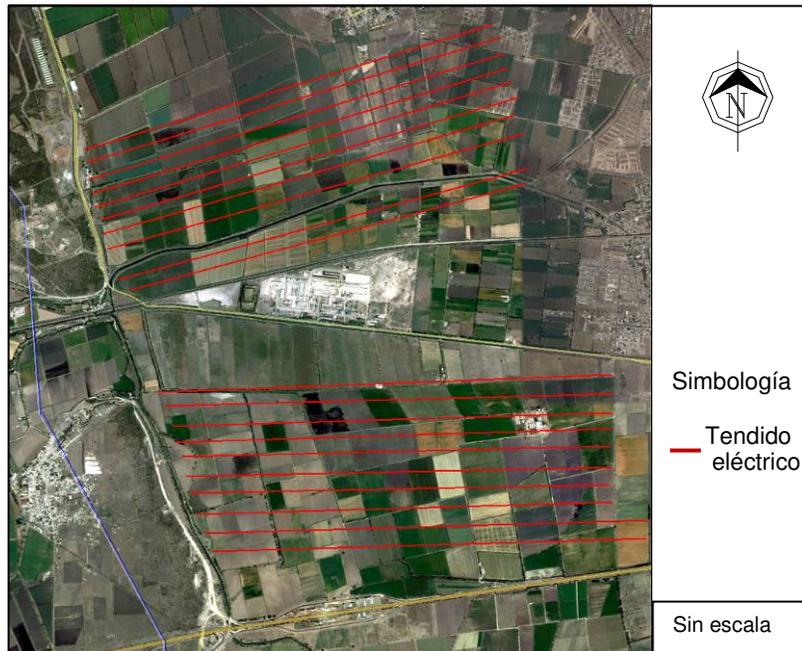
### Área 1 Santa María Magdalena

La primera área propuesta se localiza en una zona agrícola, en la cual se puede realizar la infiltración, por las condiciones geológicas, topográficas, ambientales y de uso de suelo. Se encuentra a una elevación de 1800 msnm. Basado en el mapa geológico y la figura 2.13, sección geológica 2 se infiere que a nivel superficial encontramos depósitos aluviales, seguidos por depósitos vulcanoclásticos que llegan hasta los 30 m de profundidad; de los 30 a los 40 m se identificó una brecha volcánica; de los 40 a los 80 m basalto fracturado; de los 80 a los 145 m tobas y de los 145 hasta los 300 m nuevamente basalto.

La precipitación promedio anual en esta zona es de 550 mm anualmente. Según el REPDA, en esta zona existen numerosos pozos de abastecimiento de agua. **Figura 2.20.**

El nivel freático en esta zona se encuentra a los 140 metros por lo que la recarga se llevaría a cabo en las tobas las cuales, en condiciones de saturación, presentan una conductividad hidráulica entre 0.032 hasta 10 m/día, una transmisividad de 0.7 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento del 0.07. Sobreyaciendo a esta unidad se encuentra una unidad de basalto fracturado, que presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 hasta los 40 m/día en condiciones de saturación.

En esta área se hará un cubrimiento de una superficie de 70,000 m<sup>2</sup> a través de veinte líneas de 3,500m separadas cada 100 m, con separación de electrodos en las líneas cada 10 m **Figura 5.9.**



**Figura 5.9** Distribución de las líneas de imagen eléctrica área 1 (Google Earth, 2009)

### Área 2 Villa Corregidora.

Esta área se localiza en una zona agrícola, a una elevación de 1800 msnm. Basado en el mapa geológico y la figura 2.14, la sección geológica 3 se infiere que a nivel superficial encontramos depósitos aluviales, seguidos por depósitos vulcanoclásticos que llegan hasta los 110 m de profundidad; de los 110 a los 150 m se identificó una unidad de basalto fracturado; de los 150 a los 200 m tobas; de los 200 a los 300 m basalto fracturado. Es importante tomar en cuenta que esta zona se localiza sobre la falla el Tlacote ligeramente hacia el noreste.

La precipitación promedio anual en esta zona es de 550mm anualmente. Según el REPDA en esta zona existen numerosos pozos de abastecimiento **figura 2.20.**

El nivel freático en esta área se encuentra a los 160 metros por lo que la recarga se llevaría a cabo en la unidad basáltica la cual presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 hasta 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, estos valores son estimados en condiciones de saturación.

En esta área se hará un cubrimiento de una superficie de 10.5 km<sup>2</sup> a través de trece líneas de 3,500 m separadas cada 100 m, con separación de electrodos en las líneas cada 10 m **Figura 5.10**.



**Figura 5.10** Distribución de las líneas de imagen eléctrica área 2 (Google Earth, 2009)

### Área 3 Aeropuerto viejo

Esta área se localiza en una zona residencial, a una elevación de 2000 msnm. Basado en el mapa geológico y proyectando la información de la sección 1-1' se infiere que en esta zona aflora una unidad de basalto alcanzando cerca de los 40 m de profundidad; seguida por depósitos vulcanoclásticos que llegan hasta los 90 m; de los 90 a los 120 m se identificó nuevamente una unidad de basalto fracturado; de los 120 a los 130 m tobas; de los 130 a los 260 m nuevamente basalto fracturado. Esta zona se localiza cerca de las fallas de Querétaro y Menchaca.

La precipitación promedio anual en esta zona es de 550 mm anualmente. Según el REPDA en esta zona existen numerosos pozos de abastecimiento aunque en menor cantidad a las áreas 1 y 2 **figura 2.20**.

El nivel freático en esta área se encuentra a los 100 metros por lo que la recarga se llevaría a cabo en la unidad basáltica la cual presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 hasta 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, en condiciones de saturación. Sobre yaciendo a esta unidad se encuentra una unidad de sedimentos vulcanoclásticos, que presenta una conductividad hidráulica entre los 0.032 y 10 m/día, en condiciones de saturación.

En esta zona se están construyendo gran cantidad de conjuntos habitacionales y son precisamente estos conjuntos de donde se pretende tomar el agua para la recarga, desarrollar la infraestructura para captar el agua pluvial, así como implementar plantas de tratamiento para el agua residual.

En esta área se hará un cubrimiento de una superficie de 4.0 km<sup>2</sup> a través de once líneas de 4,000 m separadas cada 100 m, con separación de electrodos en las líneas cada 10 m **Figura 5.11.**



**Figura 5.11** Distribución de las líneas de imagen eléctrica área 5 (Google Earth, 2009)

#### Área 4. Conín

Esta área se localiza en una zona residencial, a una elevación de 1950 msnm. Con base en el mapa geológico y proyectando la información de la sección 4-4' se infiere que en esta zona aflora una unidad de basalto alcanzando cerca de los 120 m de profundidad con intercalaciones de sedimentos vulcanoclásticos; seguida por una brecha volcánica que llega hasta los 300 m de profundidad, esta unidad presenta intercalaciones de basalto fracturado; de los 300 a los 350m se identificó una unidad de depósitos vulcanoclásticos. Es importante destacar que esta zona es una zona muy fracturada ya que se encuentra entre las fallas Querétaro, Menchaca y Cañada.

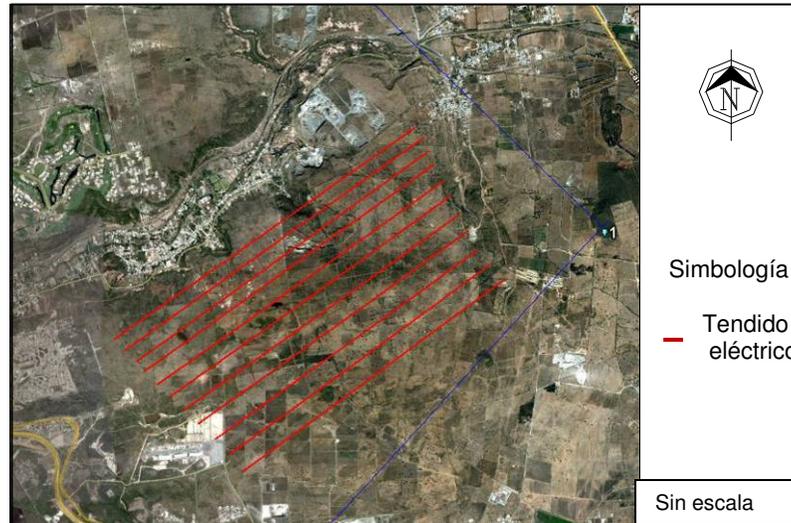
La precipitación promedio anual en esta zona es de 550mm anualmente. Según el REPDA en esta zona existen numerosos pozos de abastecimiento aunque en menor cantidad a las áreas 1 y 2 **figura 2.22.**

El nivel freático en esta área se encuentra a los 150 metros por lo que la recarga se llevaría a cabo en la unidad de brecha volcánica la cual se considera un medio fracturado y presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 hasta 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, en condiciones de saturación.

Sobre yaciendo a esta unidad se encuentra una unidad de basalto fracturado, que presenta una conductividad hidráulica similar.

En esta zona se están construyendo gran cantidad de conjuntos habitacionales y son precisamente estos conjuntos de donde se pretende tomar el agua para la recarga, desarrollar la infraestructura para captar el agua pluvial, así como implementar plantas de tratamiento para el agua residual.

En esta área se hará un cubrimiento de una superficie de 4.0 km<sup>2</sup> a través de once líneas de 4,000 m separadas cada 100 m, con separación de electrodos en las líneas cada 10 m **Figura 5.12.**



**Figura 5.12** Distribución de las líneas de imagen eléctrica área 4 (Google Earth, 2009)

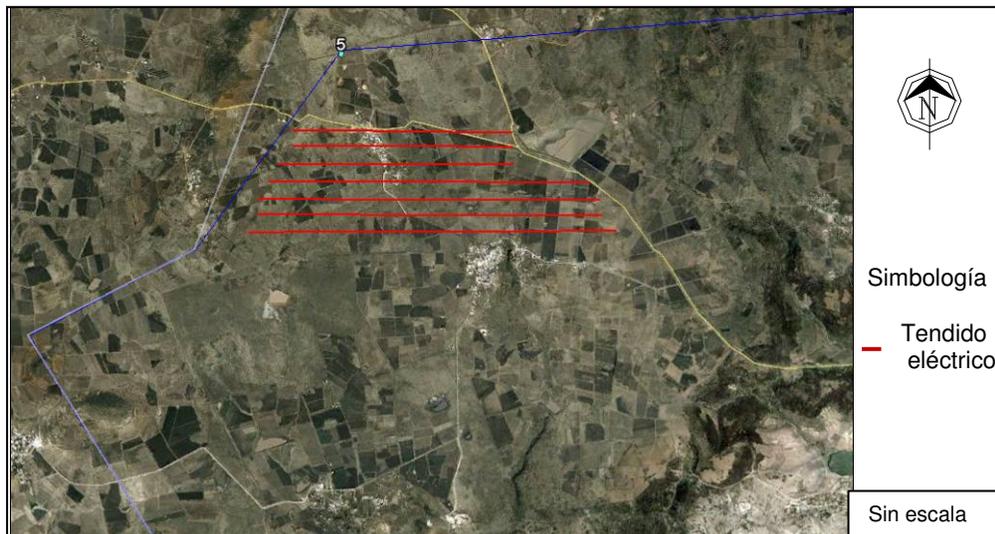
### Área 5 Tlacote norte.

Esta área se localiza en una zona agrícola, a una elevación de 1950 msnm. Con base en el mapa geológico y proyectando la información de la sección 2-2' se infiere que en esta zona afloran las siguientes unidades, sedimentos vulcanoclásticos, basalto, andesitas y tobas líticas y depósitos aluviales. En sección se observan a nivel superficial sedimentos vulcanoclásticos, brecha volcánica y basalto fracturado, siendo este último el que se extiende a profundidad. Esta zona se encuentra entre las fallas Tlacote, Santa Rosa y Buenavista.

La precipitación promedio anual en esta zona es de 550mm anualmente. Según el REPDA en esta zona existen numerosos pozos de abastecimiento aunque en menor cantidad a las áreas 1 y 2 zonas anteriores **figura 2.20.**

El nivel freático en esta área se encuentra a los 120 metros por lo que la recarga se llevaría a cabo en la unidad basáltica la cual presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 hasta 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, en condiciones de saturación.

En esta área se hará un cubrimiento de una superficie de 2.5 km<sup>2</sup> a través de siete líneas de 2,000 a 3,000 m separadas cada 100 m, con separación de electrodos en las líneas cada 10 m **Figura 5.13**.



**Figura 5.13** Distribución de las líneas de imagen eléctrica área 3 (Google Earth, 2009)

### Actividades

- Trazo topográfico para definir las líneas y ubicar los electrodos.
- Obtención de datos a través de exploración geoelectrica (corriente-voltaje).
- Procesado bi y tridimensional de los datos
- Obtención de imágenes eléctricas bidimensional y con base en la distribución de las líneas una imagen tridimensional.
- Análisis de información.
- Definición de zonas permeables, impermeables y espesor de suelo saturado.
- Llevar a cabo una prueba piloto para corroborar la factibilidad del proyecto.

En la **Figura 5.14** se presenta en forma gráfica el proceso de adquisición de datos, adquisición, procesado, análisis y resultados.

### Factores críticos para realizar el proyecto

**Costo.** Es una nueva cultura en el área hidrogeológica. Hasta ahora se ha venido trabajando en la zona saturada a través de estudios puntuales de exploración geofísica. La situación que presenta el AVQ requiere de estudios más sofisticados.

**Concertación con el sector agrícola.** El estudio se plantea realizar en la zona agrícola, única zona disponible en la actualidad para realizar el proceso de

infiltración. Para ejecutar el trabajo es necesario cubrir zonas de cultivo situación que puede incomodar a los agricultores al perder una superficie de cultivo. Sin embargo, los beneficios son mayores ya que como parte del rescate del AVQ es necesario disponer de una superficie verde; además, en esa área se propone realizar la infiltración del agua de lluvia, lo que trae por beneficio recuperar niveles del agua subterránea y de en esa zona se concentre al agua de precipitación y estar siempre húmeda.

En la **tabla 5.3** se muestra un resumen de las zonas de interés para llevar a cabo el proceso de infiltración.

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

Área en orden de importancia	Geología Superficial	Profundidad del Nivel Estático (m)	Elevación del suelo (msnm)	Unidad donde se encuentra el n.e.	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Conductividad Hidráulica	Coefficiente de Almacenamiento	Uso de Suelo	Precipitación anual (mm)	Volumen de agua disponible	Ventajas	Riesgos Potenciales
<b>Santa Ma. Magdalena</b>	AI, SVL, Bv, B y TI	140	1750	TI	0.7	0.032 - 10	0.07	Agrícola	550	Agua de la ciudad, es la zona con topografía más baja. Realizar estudio hidrológico	Zona más baja topográficamente, por lo tanto mayor volumen de agua.	Contaminación por basura e infiltración de sustancias al acuífero
<b>Villa Corregidora</b>	AI, SVL, B, TI, B	160	1800	B	2.9	0.08 - 40	0.07	Agrícola	550	Agua que llega de la cuenca del río Pueblito, desde la presa el Batán. Realizar estudio hidrológico	Zona baja topográficamente, zona con nivel estático más profundo, por lo tanto mayor columna de agua a infiltrar	Contaminación por basura e infiltración de sustancias al acuífero
<b>Aeropuerto viejo</b>	AI, SVL, B, TI, B	100	2000	B	2.9	0.08 - 40	0.07	Agrícola	550	Volumen que escurre del Cerro el Penal. Realizar estudio hidrológico	Zona con un área de infiltración considerable	Contaminación por basura e infiltración de sustancias al acuífero
<b>Conín</b>	B, SVL, Bv, B, SVL	150	1950	Bv	2.9	0.08 - 40	0.07	Residencial	550	Volumen que escurre de la parte alta de la falla Querétaro. Realizar estudio hidrológico	Aprovechamiento de escurrimiento de casas y calles, posibilidad de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales	Contaminación por basura e infiltración de sustancias al acuífero
<b>Tlacote Norte</b>	SVL, B, A, TI	120	1950	B	2.9	0.08 - 40	0.07	Agrícola	550	Volumen que escurre de la sierra localizada al norte de Tlacote. Realizar estudio hidrológico	Zona con un área de infiltración considerable.	Contaminación por basura e infiltración de sustancias al acuífero

Tabla 5.3 Resumen de las áreas a infiltrar

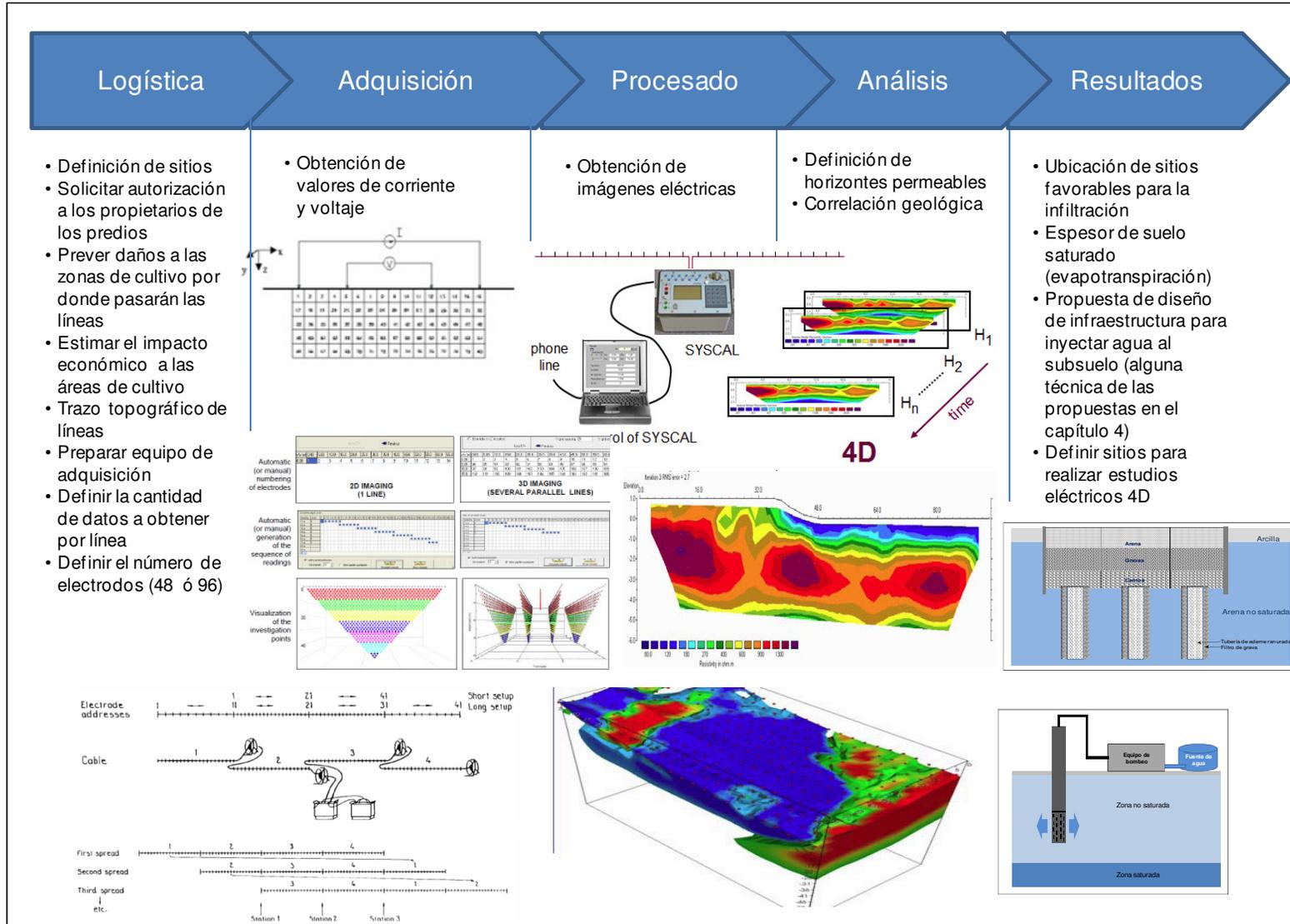


Figura 5.14. Proceso propuesto para caracterizar la zona drenada

### 5.4.2. Aprovechamiento del agua de los bordos

En el AVQ existe un sistema de bordos que funcionan como control de avenidas. Con base en lo expuesto, las condiciones del suelo donde se acumula el agua es de impermeabilidad, lo que favorece que la mayor cantidad de agua se evapore. Si bien el microclima genera una mayor humedad en el ambiente, el agua estancada no se aprovecha.

La ubicación de los bordos se presenta en la **Figura 5.15**, cada uno de ellos presenta diferentes condiciones geológicas, presencia de intercalaciones de sedimentos vulcanoclásticos con derrames de basalto, algunos se encuentran en zonas de falla o fracturamiento y las profundidades del agua varían de acuerdo a su ubicación en el AVQ.

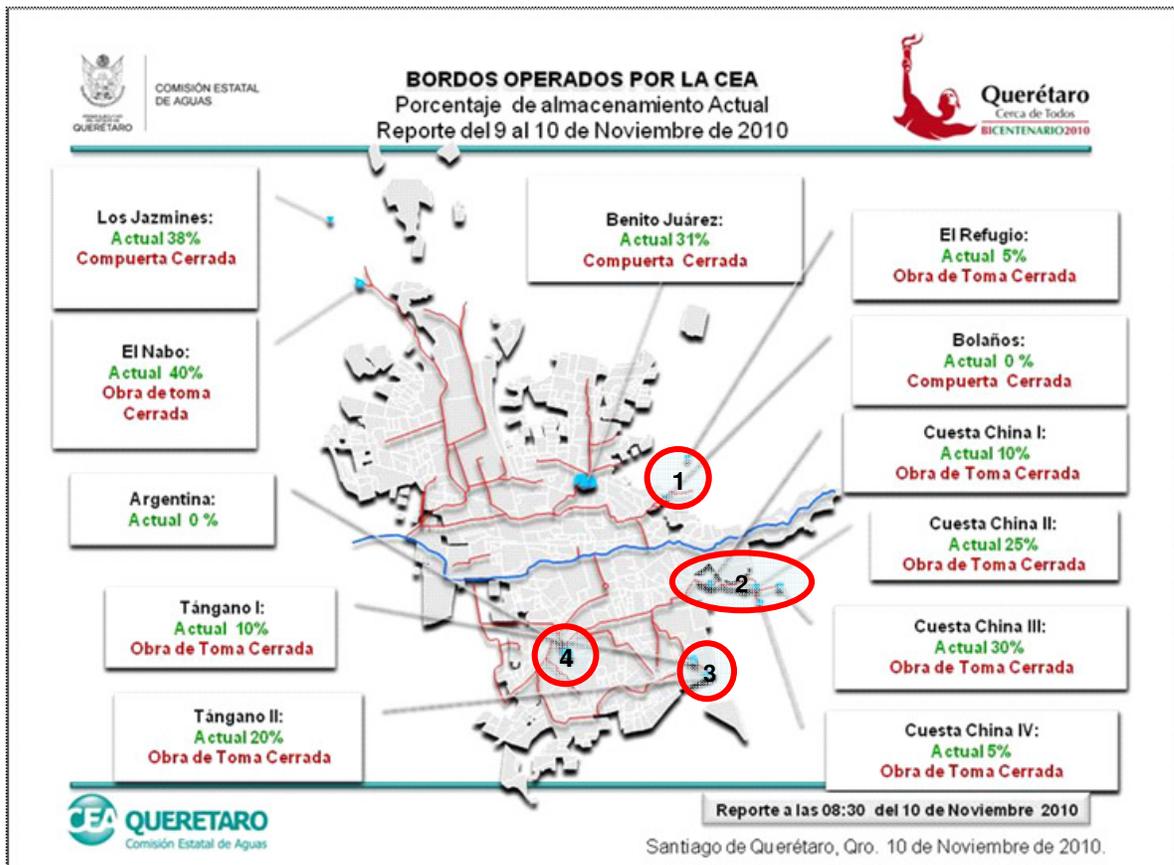


Figura 5.15. Sitios donde realizar acciones para aprovechar el agua de los bordos en el AVQ (Imagen tomada del portal de la CEA)

Con base en lo expuesto y con el propósito de recuperar niveles de agua, lo más recomendable para estos sitios es caracterizarlos y proponer pozos de infiltración o de inyección para que el agua se traslade al subsuelo y no se pierda por evaporación. Cabe mencionar que uno de los bordos está catalogado como zona de reserva, Bordo Benito Juárez, en el cual no se propone realizar el proceso de infiltración.

- **Objetivos**

- Caracterizar la zona no saturada de los sitios donde se ubican los bordos.
- Definir la posición del nivel del agua subterránea.
- Definir el volumen de agua que se infiltrará (sobre este punto la CEA lleva un seguimiento permanente del comportamiento de los bordos).
- Definir el tipo de tratamiento que aplicará al agua superficial para darle la calidad para evitar contaminación en el subsuelo.
- Proponer obras de ingeniería para acelerar el proceso de infiltración (pozos de inyección o canales subterráneos).

- **Alcances**

Con la información disponible se propondrá la infraestructura para infiltrar agua al subsuelo.

- **Áreas de estudio**

## Bordos Refugio y Bolaños

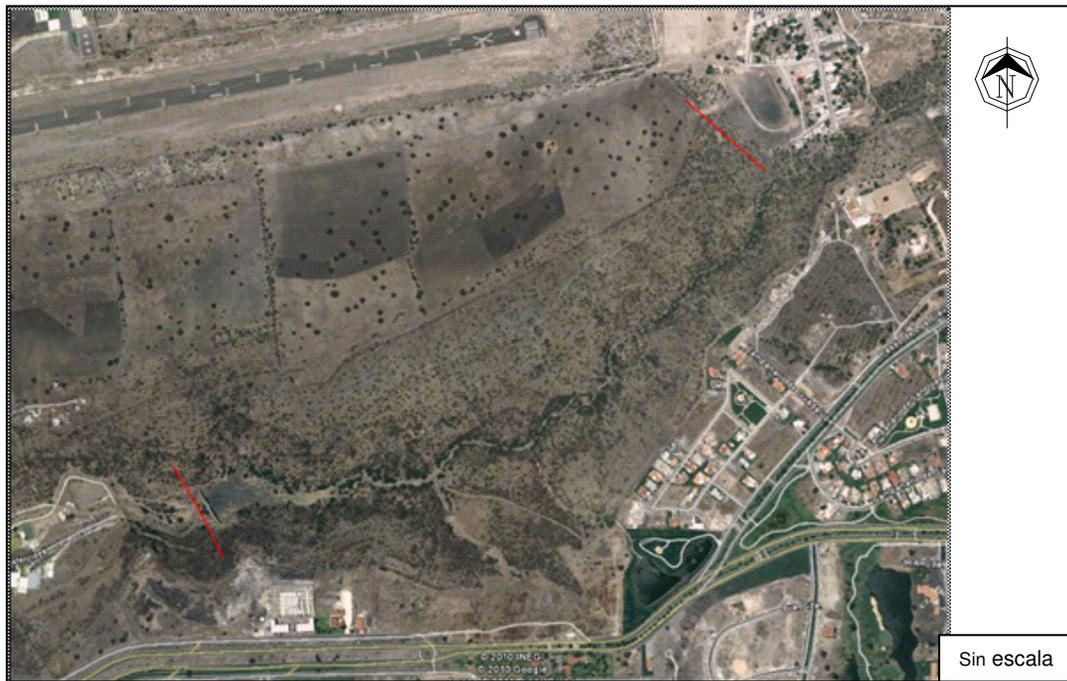
El Bordo Refugio y Bolaños se encuentra en una zona donde afloran una unidad de basalto bajo una capa de suelo residual. La columna estratigráfica de esta zona se compone de la siguiente manera, en la parte más reciente una unidad de basalto la cual alcanza los 60 metros de profundidad, de los 60 a los 125 metros encontramos depósitos vulcanolacustres, posteriormente de los 125 a los 200 metros otra unidad de basalto fracturado, bajo el basalto se encuentra depositada una capa de 10 metros de brecha volcánica, finalmente de los 210 metros hasta los 300 hay una serie de depósitos vulcanolacustres.

El nivel estático en la zona se encuentra a una profundidad de 75m el cual se localiza en la unidad de sedimentos vulcanolacustres, que corresponde a las características del medio poroso, por lo tanto presenta una conductividad hidráulica de 0.032 a 10 m/día, una transmisividad de 0.7 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, en condiciones de saturación.

Esta zona se localiza a una altura promedio de 2000 msnm, presenta una temperatura media anual de 18 a 20°C, la precipitación promedio anual de la región es de 550 mm.

El Bordo Refugio Bolaños se encuentra en zona federal..

En las **Figura 5.16** se define la ubicación de estos bordos, se encuentran en la zona de las áreas propuestas.



**Figura 5.16. Sitios para infiltrar agua al subsuelo Refugio y Bolaños** (Google Earth, 2009)

### Bordos Cuesta China

En la región del Bordo Cuesta China se encuentra en una zona aflora una unidad de basalto fracturado bajo una capa de suelo residual, el basalto alcanza los 150 metros de profundidad con algunas intercalaciones de sedimentos vulcanoclásticos, de los 150 a los 350 metros de profundidad se presenta una unidad de brecha volcánica. Se encuentra entre las fallas, falla La Cañada y la falla Querétaro.

El nivel freático en esta zona se encuentra aproximadamente a una profundidad de 150 metros, lo que corresponde a la unidad de basalto. La cual presenta una conductividad hidráulica entre 0.08 y 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, valores obtenidos en condiciones de saturación.

Este bordo se encuentra a una elevación de 1900 msnm, presenta una temperatura media anual de 18 a 20°C, la precipitación promedio anual de la región es de 550 mm.

El Bordo Cuesta China se encuentra en zona federal.

En las **Figura 5.17** se define la ubicación de estos bordos, se encuentran en la zona de las áreas propuestas.



**Figura 5.17. Sitios para infiltrar agua al subsuelo Cuesta China** (Google Earth, 2009)

## Bordos Tángano

En la región de Bordo Tángano aflora una unidad de basalto fracturado, sobre la cual se encuentra una capa de suelo residual, la columna estratigráfica de esta zona está constituida por una intercalación de basalto fracturado y brecha volcánica hasta más de los 300 metros de profundidad. Las condiciones hidrogeológicas son similares, ambas presentan una conductividad hidráulica entre 0.08 a 40 m/día, una transmisividad de 2.9 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.07, valores obtenidos en condiciones de saturación.

El nivel freático en esta zona alcanza los 150 metros de profundidad, el cual corresponde a la unidad de basalto fracturado.

Este bordo se encuentra a una elevación de 1900 msnm, presenta una temperatura media anual de 18 a 20°C, la precipitación promedio anual de la región es de 550 mm.

El Bordo Tángano se encuentra en una zona de baja topografía en zona federal en zona comercial.

En las **Figura 5.18** se define la ubicación de estos bordos, se encuentran en la zona de las áreas propuestas.



Figura 5.18. Sitios para infiltrar agua al subsuelo Tángano (Google Earth, 2009)

## Bordo Argentina

En la región del Bordo Argentina aflora una unidad de sedimentos vulcanolacustres, bajo una capa de suelo residual, dicha unidad alcanza los 240 metros de profundidad, entre los 100 y 110 metros de profundidad encontramos una pequeña unidad de basalto fracturado.

El nivel freático en esta zona se encuentra a 150 metros de profundidad, lo cual corresponde a la unidad de sedimentos vulcanolacustres, la cual presenta una conductividad hidráulica de 0.032 a 10 m/día.

Este bordo se encuentra a una elevación de 1800 msnm, presenta una temperatura media anual de 18 a 20°C, la precipitación promedio anual de la región es de 550 mm.

El Bordo Argentina se encuentra en una zona urbana residencial, un desborde puede afectar a la infraestructura civil y ocasionar accidentes.

En las **Figura 5.19** se define la ubicación de estos bordos, se encuentran en la zona de las áreas propuestas.



Figura 5.19. Sitios para infiltrar agua al subsuelo A (Google Earth, 2009)

## Actividades

- Obtención de datos a través de exploración de imagen eléctrica
  - Bordos Refugio y Bolaños: dos perfiles con longitud de 200 m, para conocer las condiciones eléctricas a una profundidad del orden de los 30 m.
  - Cuesta China: tres perfiles de 400 m y uno de 200 m, para conocer las condiciones eléctricas del subsuelo a una profundidad del orden de los 50 m.
  - Tánganos: dos perfiles de 500 m cada uno, para conocer las condiciones eléctricas del subsuelo a una profundidad del orden de los 50 m.
  - Argentina: un perfil de 400 m, para conocer las condiciones eléctricas del subsuelo a una profundidad del orden de los 30 m.
- Procesado bidimensional de los datos
- Obtención de imágenes eléctricas bidimensionales.
- Análisis de información.
- Definición de zonas permeables, impermeables y espesor de suelo saturado.
- Llevar a cabo una prueba piloto para corroborar la factibilidad del proyecto.
- Propuesta de diseño de infraestructura para infiltrar agua.

En la **tabla 5.4** se muestra un resumen de los bordos para la recolección y almacenamiento de agua y llevar a cabo el proceso de infiltración.

Bordo	Geología Superficial	Profundidad del Nivel Estático (m)	Elevación del suelo (msnm)	Unidad donde se encuentra el n.e.	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Conductividad Hidráulica	Coefficiente de Almacenamiento	Uso de Suelo	Precipitación anual (mm)	Volumen de agua disponible	Riesgos Potenciales
Refugio y Bolaños	B, SVL, B, Bv, SVL	75	2000	SVL	0.7	0.032 - 10	0.07	Federal	550	Validar estudio hidrológico	Contaminación por basura.
Cuesta China	B, SVL, Bv	150	1900	B	2.9	0.08 - 40	0.07	Federal	550	Validar estudio hidrológico	Contaminación por basura.
Tángano	B, Bv	150	1900	B	2.9	0.08 - 40	0.07	Residencial	550	Validar estudio hidrológico	Desbordamiento que afecte la zona residencial, contaminación por basura.
Argentina	SVL, B	150	1800	SVL	0.7	0.032 - 10	0.07	Residencial y Federal	550	Validar estudio hidrológico	Desbordamiento que afecte la zona residencial, contaminación por basura.

Tabla 5.4 Resumen de bordos para recolección y almacenamiento de agua

En la **Figura 5.20** se presenta en forma gráfica el proceso de adquisición de datos, procesado, análisis y resultados.

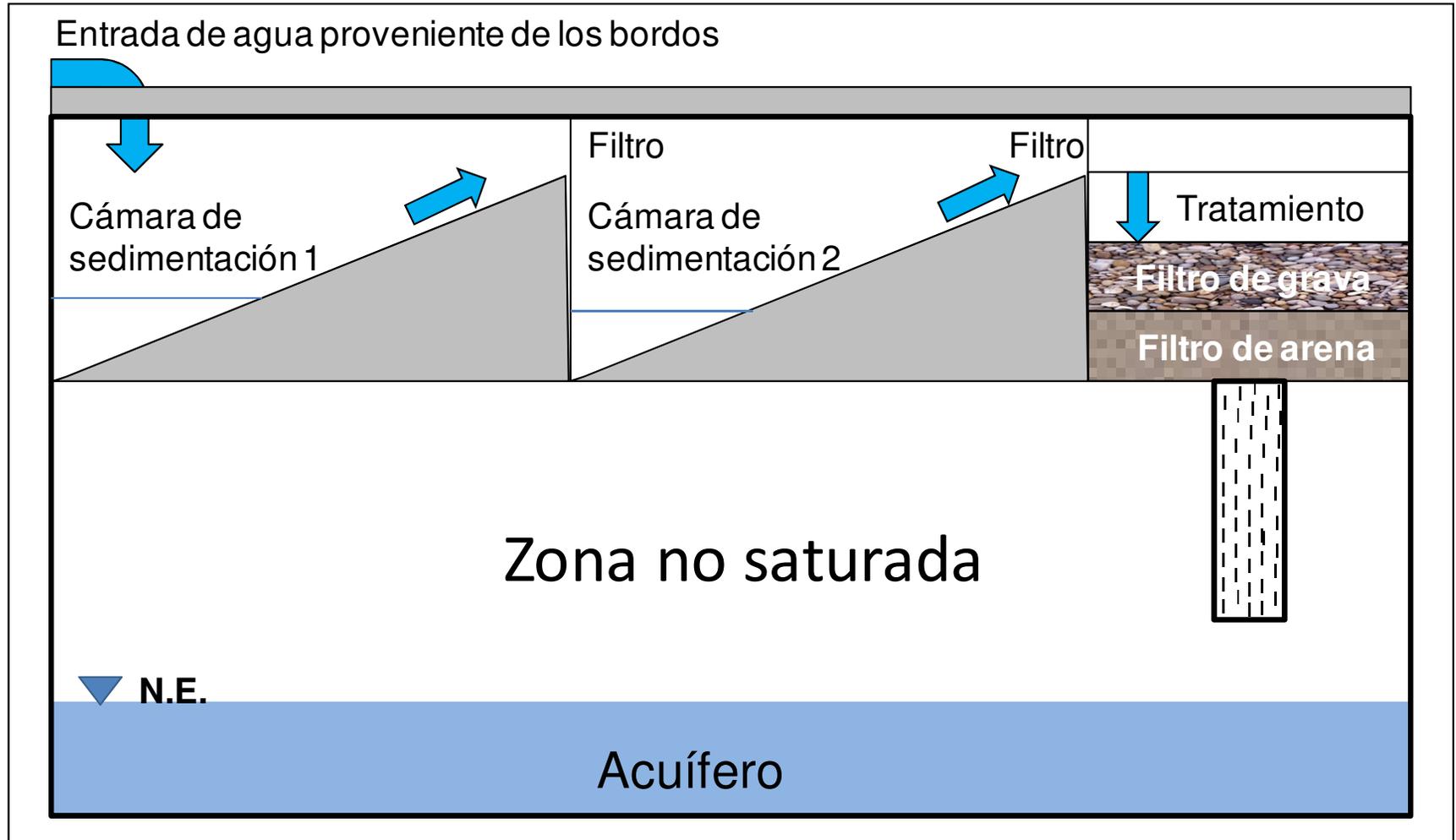


Figura 5.20. Esquema idealizado del proceso para infiltrar agua aprovechando el agua de los bordos

### Factores críticos para realizar el proyecto

- **Costo.** Perforación de un pozo de hasta 50 m de profundidad, obra de ingeniería civil, tratamiento del agua a través de carbón activado.
- **Autorización de la CONAGUA del proyecto y obra.**
- **Responsable del mantenimiento.**
- **Costo de mantenimiento**

#### 5.4.3. Captación de agua de lluvia de los techos de las obras civiles (casa habitación, centros comerciales, industrias)

Con el propósito de aprovechar al máximo el agua pluvial es conveniente captar el agua que cae sobre los techos de las obras civiles y crear microacuíferos. Para el caso del AVQ donde el espesor de la zona no saturada, en la zona urbana, es mayor a los 50 m, y dada la presencia de horizontes de arena y arcilla de la unidad geológica sedimentos vulcanosedimentarios, es menos riesgoso un problema de contaminación; sin embargo; es necesario crear una cultura sobre el cuidado del agua. En la **Figura 5.21** se presenta un esquema idealizado de la forma de aprovechar el agua.



Figura 5.21 Esquema idealizado para aprovechar el agua de lluvia que se capta en los techos de las obras civiles

- **Objetivos**

- Captar e infiltrar el agua que cae en los techos de las obras civiles al subsuelo.
- Cuantificar el volumen de agua lluvia potencial que cae en los techos de las obras civiles

- **Alcances**

El aprovechamiento del agua superficial proveniente de los techos de las obras civiles e infiltrado al subsuelo permitirá recargar al AVQ.

- **Área de estudio**

Zona urbana del AVQ

### **Actividades**

- Establecer las superficies de techos que pueden utilizarse para captar agua.
- Cuantificar el volumen de agua que se puede infiltrar.
- Diseñar la infraestructura para captar el agua.
- Construir la infraestructura.
- Realizar campañas de concientización sobre el aprovechamiento del agua de los techos
- Crear la cultura para llevar a cabo el proyecto en el que incluya los cuidados, tratamientos que debe aplicarse al agua de lluvia proveniente de los techos.
- Concertar con la sociedad sobre el beneficio de captar agua de lluvia y apoyo económico para que realicen las obras de ingeniería necesarias para aprovechar el agua.
- Hacer propuesta para reglamentar el aprovechamiento de las aguas provenientes de los techos

En la **Figura 5.22** se presenta en forma gráfica el proceso de adquisición de datos, procesado, análisis y resultados.

### **Factores críticos para realizar el proyecto**

- **Costo económico de generación de la infraestructura.** Se sugiere iniciar con los nuevos desarrollos habitacionales, comerciales o empresas.
- **Costo social.**
- **Cultura.** La población no está educada para mantener limpios los techos de sus casas, será necesario promover una cultura para concientizar a la población a aprovechar el agua de sus techos.
- **Definir la instancia que llevará a cabo el proyecto.**
- **Autorización de CONAGUA.**
- **Documentación del proyecto.**
- **Definir responsables del mantenimiento de la infraestructura que se desarrolle.**

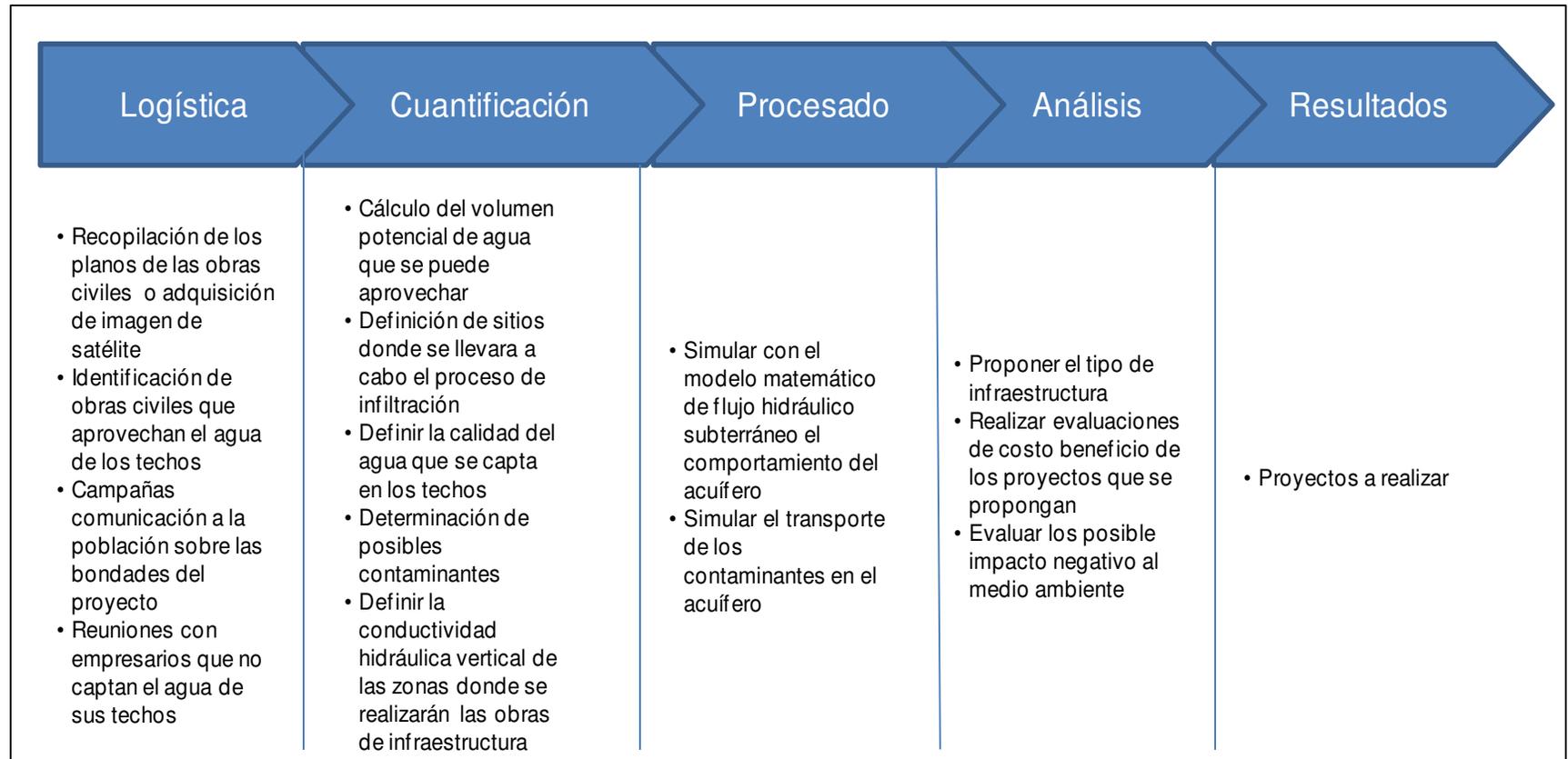


Figura 5.22. Proceso para infiltrar agua aprovechando el agua de los techos de las obras de ingeniería civil

#### 5.4.4. Estimación de la conductividad hidráulica en la zona no saturada

A la fecha no se conoce el valor de la conductividad hidráulica de la zona no saturada. Se tiene conocimiento en algunos sitios con información de pruebas de bombeo realizadas en pozos o bien a través de la interpretación de los aforos de los pozos al término de la perforación. El valor que se conoce es de un intervalo de roca en situación de saturación. En la actualidad las condiciones de la zona no saturada han variado por compactación, movimientos diferenciales del terreno, lo que se traduce que los valores de conductividad son diferentes.

El proyecto que se propone está enfocado a obtener un valor estimado con base en un estudio de imagen eléctrica 4D.

- **Objetivos**

- Conocer el comportamiento eléctrico tridimensional en el tiempo de un volumen de roca al aplicarle un trazador.
- Estimar la conductividad hidráulica.

- **Alcances**

El conocimiento del valor estimado de conductividad hidráulica permitirá conocer la velocidad con que se mueve el agua en el subsuelo y corroborar la hipótesis si en las condiciones actuales que guarda el acuífero el volumen de agua de infiltración recarga al acuífero.

- **Área de estudio**

Se definirá un área con una superficie de 500 x 500 m en la zona de la salida del río Querétaro, con base en el resultado de la exploración geofísica bidimensional propuesta en el proyecto Caracterización de la zona drenada, inciso 5.5.1

#### **Actividades**

- Definir el área.
- Hacer una malla de 100 x 100 m con separación de 10 m entre sondeos.
- Definir un trazador (de preferencia cloruro de sodio).
- Realizar una perforación en el centro del arreglo geométrico definido cuando menos de 5 m de profundidad para evitar la evaporación y saturación del suelo.
- Cuantificar el volumen de agua necesario para saturar la zona de estudio.
- Realizar las mediciones para obtener valores de corriente-voltaje a diferentes tiempos, por ejemplo 48 horas con mediciones cada hora.
- Procesar los datos de cada imagen (48 imágenes tridimensionales)
- Estimar la velocidad de flujo del agua.
- Definir la dirección preferencial de la trayectoria del agua infiltrada.
- Estimar la conductividad hidráulica de la zona estudiada.

En la **Figura 5.23** se presenta en forma gráfica el proceso de adquisición de datos, procesado, análisis y resultados.

### **Factores críticos para realizar el proyecto**

- Muy costoso.
- Disponibilidad de un sitio y permiso del dueño para realizar el estudio.
- Autorización de CONAGUA
- Definir la instancia que llevará a cabo el proyecto.
- Documentación del proyecto.

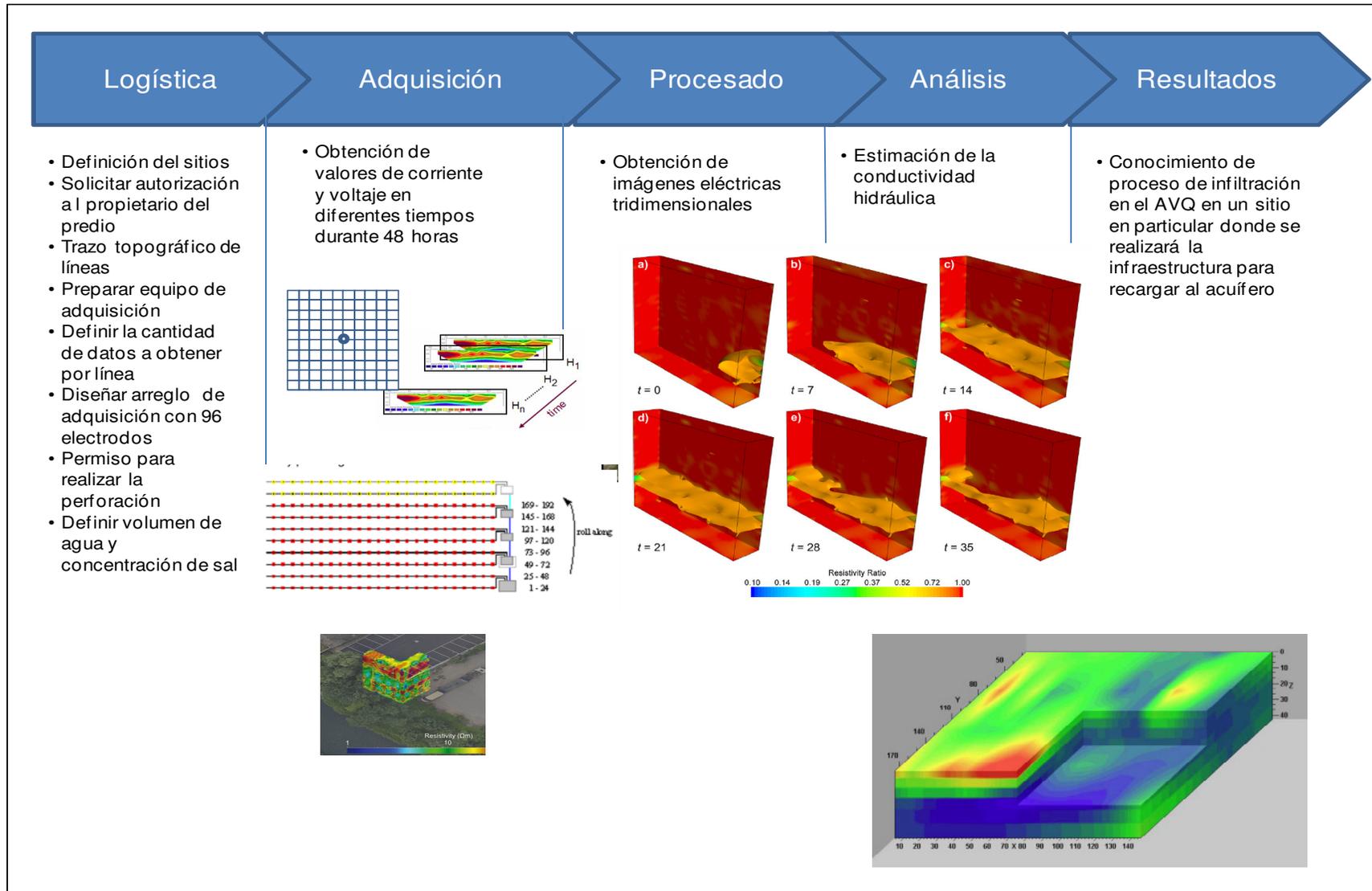


Figura 5.23. Proceso para estimar el valor de la conductividad hidráulica de la zona no saturada

#### 5.4.5. Resguardar las áreas naturales protegidas

En el AVQ se tiene consideradas ocho áreas naturales protegidas, para los fines del proyecto de recarga sobresalen: el parque nacional “El Cimatario”, reserva estatal “Mario Molina-Pasquel, El Pinalito” y la Zona sujeta a conservación ecológica “El Tángano”,

Son áreas donde la pendiente es superior a los 20° y donde es escurrimiento del agua de lluvia es muy alto provocando, cuando no existe vegetación, el traslado de suelo hacia las partes bajas).

Para este proyecto se propone crear la infraestructura natural que reduzca la velocidad del agua.

- **Objetivos**
  - Preservar las áreas naturales protegidas.
  - Reducir la velocidad del agua de lluvia para evitar la erosión del suelo.
- **Alcances**

Conservar el entorno ecológico del AVQ.

- **Área de estudio**

Áreas con topografía alta (cerro Cimatario, El Pinalito y áreas vírgenes)

#### **Actividades**

- Identificar las corrientes superficiales.
- Estimar los volúmenes que transitan por esas corrientes.
- Definir la infraestructura que permita que el agua tenga más estancia en la zona. (algunas de las técnicas propuestas en el capítulo 4).