



GERENCIA REGIONAL LERMA SANTIAGO PACÍFICO

INTEGRACIÓN DEL PLAN DE MANEJO PARA EL ACUÍFERO VALLE DE AMAZCALA, QRO.



Diciembre, 2003

SUBGERENCIA TÉCNICA

CONVENIO No. CNA-GRLSP-CP-01/2003

CAPÍTULO I GENERALIDADES

I.1 Antecedentes

Algunos de los acuíferos de México presentan sobreexplotación y contaminación por un inadecuado manejo del recurso agua y poco control en las descargas, debido a la excesiva demanda, la descontrolada extracción, el crecimiento poblacional, la baja eficiencia en el uso agrícola y urbano-industrial, y otros aspectos que conforman una problemática particular en cada acuífero.

En el estado de Querétaro en varios de sus acuíferos existe esta problemática de sobreexplotación y contaminación, que en parte se deben a que no existen planes integrados de manejo del recurso hídrico y si existen, no se han podido implementar eficientemente hasta la fecha.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) desde hace varios años viene trabajando en estudios sobre el funcionamiento de los acuíferos y últimamente está impulsando a través de convenios y contratos con instituciones académicas y consultoras la elaboración de planes de manejo integrado de los acuíferos, con la participación de los usuarios y de las instituciones locales involucradas.

Por su parte el gobierno del estado de Querétaro, a través de la Comisión Estatal de Aguas (CEA) en coordinación con la Gerencia Estatal de la CNA, ha realizado algunos estudios y trabajos para conocer el funcionamiento de los acuíferos y monitorear algunas variables como los niveles estáticos y dinámicos, la calidad del agua, incluyendo los impactos del manejo del agua en los aspectos socio económicos de la región.

Bajo este contexto la CNA realizó un convenio de colaboración con el Colegio de Postgraduados (CP) para el desarrollo de un Plan de Manejo integral del acuífero *Valle de Amazcala*, Querétaro⁽¹⁾.

El Plan de Manejo Integral se elaboró con base en la información proporcionada por la CNA y la recabada de otras fuentes como la CEA, el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del acuífero Valle de Amazcala y otras dependencias del gobierno Estatal de Querétaro y del Gobierno Federal. En este Plan se consideró entre otras actividades la planeación participativa, es decir que los usuarios del agua y las instituciones relacionadas con el acuífero participen en la elaboración del Plan.

¹ SEMARNAT. 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado. DOF. Segunda sección. 5 de diciembre de 2001.

1.2 Justificación

El acuífero Valle de Amazcala es uno de los acuíferos en donde las actividades agropecuarias, industriales y otras se desarrollan intensamente, lo que ha provocado una gran competencia entre los usuarios del agua y una sobreexplotación en éste, lo que obligó a las autoridades a decretar la veda en el acuífero desde 1976.

En el año 2001 el acuífero registró una extracción por bombeo de aproximadamente 65 hm³ y una descarga horizontal de 10 hm³, teniendo únicamente una recarga total de 47 hm³, por lo que se tiene un déficit o minado en el acuífero de 28 hm³. Esta sobre explotación ocasionado un abatimiento de los niveles estáticos y dinámicos de uno a dos metros por año, generando un impacto económico en los productores y ecológico al medio ambiente. Lo anterior se debe a que existe una gran competencia por el uso del agua debido principalmente a la escasez de este recurso, a la ineficiencia del uso del agua, al crecimiento de la población e incremento de la demanda de otros sectores como el industrial. También cabe mencionar que el sector agrícola es el mayor demandante ya que extrae aproximadamente 54 hm³, seguido por el uso potable con 7 hm³, el industrial y abrevadero con 4 hm³ ⁽²⁾.

Producto de esta problemática los usuarios del agua en el acuífero Valle de Amazcala, con el apoyo de la CNA y con base en la Ley de Aguas Nacionales, han formado el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de Amazcala, teniendo como objetivos; coadyuvar en la formulación y ejecución de programas y acciones para la estabilización, recuperación y preservación del acuífero y la mejor administración de las aguas subterráneas, tanto en cantidad como calidad, con la participación de los usuarios y de las diferentes instituciones relacionadas. Por este motivo, en coordinación con la Gerencia Estatal de la CNA están trabajando en promover el manejo sustentable del acuífero.

Bajo este contexto, fue necesario elaborar el Plan de Manejo del Agua del Acuífero Valle de Amazcala, en el cual se consideró la participación de todos los actores sociales e institucionales, bajo un enfoque de planeación participativa.

1.3 Objetivos

El Estudio tiene como objetivo principal la integración del Plan de manejo del agua en el acuífero Valle de Amazcala, Querétaro; tomando en cuenta los objetivos planteados por los usuarios del COTAS, dentro de la planeación participativa y los objetivos específicos de los términos de referencia del presente estudio.

El objetivo principal planteado por el COTAS fue la estabilización del acuífero, teniendo como objetivos estratégicos los siguientes:

² CEA Querétaro. 2001. Identificación de impactos al acuífero Valle de san Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implantación del proyecto “Riego a la demanda en el Distrito de Riego 023 san Juan del río”, estado de Querétaro.

- Tener un uso eficiente del agua
- Aumentar la recarga del acuífero
- Equilibrar la extracción
- Contar con un manejo integral de la cuenca
- No aumentar la exportación del acuífero para el envío de agua a la ciudad de Querétaro y retornar agua tratada.

Como objetivos particulares de los términos de referencia se tienen:

- Integrar las características básicas de disponibilidad, uso y aprovechamiento del agua.
- Cuantificar el volumen de extracción por bombeo.
- Estimar la situación actual de la relación costo-beneficio de la sobreexplotación
- Integrar un banco de datos y diseñar un sistema de información geográfica
- Definir los componentes de recarga y descarga que intervienen en el balance hidráulico integral.
- Definir acciones concretas de reducción de la demanda y de manejo de la disponibilidad
- Realizar un análisis de la relación costo-beneficio de la alternativa de manejo seleccionada
- Formular y analizar la propuesta del Plan de Manejo
- Realizar una evaluación hidráulica y económica del plan de manejo
- Elaborar una propuesta de Reglamento del Acuífero

1.4 Estudios previos

Para el desarrollo de este estudio, se ha revisado, validado e incorporado información existente de instituciones como la Comisión Nacional del Agua, Comisión Estatal del Agua del Estado de Querétaro, Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro y el Comité Técnico de Agua Subterránea COTAS del acuífero Valle de Amazcala, entre otras.

Las fuentes de información utilizadas en la elaboración de este estudio son las siguientes:

- Estudio prioritario del estado de Querétaro. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. 1991.
- Estudio Geohidrológico y simulación matemática de los valles de Chichimequillas y Buena vista, ubicados en el estado de Querétaro. Comisión Estatal de Aguas, Querétaro. 1993.
- Modelo matemático de simulación de flujo subterráneo del Valle de Chichimequillas. Comisión Estatal de Aguas, Querétaro. 1996.
- Anexo a la actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro. Comisión Estatal de Aguas, Querétaro. 1996.
- Memoria técnica área de la evaluación hidrogeológica en el Valle de Chichimequillas, ubicado en el estado de Querétaro. Comisión Estatal de Aguas de Querétaro. 1997.
- Sinopsis geohidrológica del estado de Querétaro. SARH. Dirección General de Administración y Control de sistemas Hidrológicos. 1988.

- Acto de instalación del Comité Técnico de aguas Subterráneas (COTAS). Acuífero Valle de Amazcala. Gerencia Estatal en Querétaro de la CNA. 1998.
- Identificación de impactos al acuífero Valle de San Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implementación del proyecto: Riego a la demanda en el distrito de Riego 023 San Juan del Río. Estado de Querétaro. Comisión Estatal de Aguas, estado de Querétaro. 2001.

1.5 Política sobre el manejo del agua

El estudio se enmarca dentro de las políticas nacionales y locales sobre el uso y la conservación de los recursos hídricos. Dentro de los objetivos rectores y estrategias del Plan Nacional de Desarrollo, se plantea un desarrollo en armonía con la naturaleza, reconociendo un deterioro actual grave del medio ambiente con sus consecuentes efectos adversos, incluyendo la contaminación de acuíferos. Se hace referencia en el plan a la necesidad de disponer de suficiente agua de calidad adecuada, la necesidad de utilizarla en forma eficiente y racional para lograr la conservación de los cuerpos de agua. Como estrategia se busca que en todos los niveles y sectores la toma de decisiones esté mediada por una cultura ecológica que cuide el entorno y el medio ambiente.

La política económica delineada en dicho plan y que habrá de regir al país en los próximos años, tiene dentro de sus metas la protección al medio ambiente a través de la optimización del uso y explotación de acuíferos mediante su reglamentación.

La solución a la situación planteada representa grandes retos para el país, que pueden resumirse en un solo objetivo: lograr la estabilización de los acuíferos para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas y sociales que están apoyadas actualmente en el recurso hídrico disponible, mediante acciones que además incidan directamente en un mejor nivel de vida de la población actual y futura ⁽³⁾.

El Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo, plantea el propósito de alcanzar el manejo sostenible del agua. Específicamente se han establecido objetivos rectores, como son: fomentar el uso eficiente del agua en la producción agrícola, lograr el manejo integral sustentable en cuencas y acuíferos, consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura y el buen uso, considerando este elemento como un recurso vital y escaso. Además de lograr el saneamiento financiero de los organismos operadores de los sistemas de agua potable, y la eficiencia productiva del sector agrícola ⁽⁴⁾.

En el estado de Querétaro, el Plan de Desarrollo 2003-2009 no contempla como primordial el manejo sustentable del agua, sin embargo, consultas públicas evidencian, a través de 711 propuestas, la importancia del tema del agua. ⁽⁵⁾.

³ www.presidencia.gob.mx

⁴ cna.gob.mx

⁵ Querétaro.gob.mx

1.6 Metodología y técnicas de trabajo

Para el desarrollo del Plan de Manejo del agua en el acuífero Valle de Amazcala se consideró la metodología siguiente:

Recopilación de información y síntesis de la situación actual

A partir de la información de estudios anteriores se obtuvieron las características básicas de la zona de estudio, con base en las cuales se realizó la síntesis de la situación actual del acuífero, la cual consideró aspectos de población y desarrollo económico, evaluación de programas relativos del manejo del agua, climatología, caracterización de aguas subterráneas y superficiales. La caracterización de aguas subterráneas consideró la geología de la zona, el funcionamiento del acuífero, las características de los aprovechamientos e hidrometría y las condiciones de explotación. En las características del agua superficial se consideró la hidrología. En cuanto a las aguas residuales no se obtuvo información.

Estimación de volúmenes de extracción

Para la estimación de los volúmenes de extracción de aguas subterráneas se aplicaron diversas metodologías. Para el uso agrícola se trató de evaluar la superficie regada y las laminas de riego usadas para cada cultivo su producto es el volumen usado. En el primer caso se utilizó la información proporcionada por el distrito de desarrollo rural, sobre superficies regadas de cada cultivo y estas superficies se corroboran mediante el uso de dos imágenes de satélite Landsat 7, una en época donde aparecen cultivos de primera-verano (2002, junio) y otra para el periodo otoño-invierno (2003, marzo), con la localización de predios con distintos cultivos, se calibró la imagen para obtener la estructura de los cultivos. Posteriormente se estimaron los requerimientos de riego, láminas netas y brutas, para cuantificar los volúmenes usados en este sector.

Los volúmenes de extracción se estimaron también con base en las estadísticas agrícolas recopiladas.

Para el cálculo de las dotaciones en el uso público urbano, se realizó con base a la población total del municipio El Marqués, donde aproximadamente el 50% corresponde a la zona cubierta por el acuífero, unos 35,000 habitantes; de esta forma se consideró una dotación de 250 l/hab-día, aunque esta dotación puede incrementarse en zonas rurales por el abasto a animales domésticos.

Para la estimación del volumen de extracción para uso industrial se obtuvieron los datos de los derechos pagados a la CNA.

Una vez hechas las estimaciones anteriores y la información proveniente de REPDA se realizó la comparación correspondiente.

Estimación de costos económico-ambientales por la sobreexplotación

Se determinaron los costos económicos-ambientales en función de los efectos derivados de la sobreexplotación del acuífero. Así mismo se estimaron los beneficios económicos producto de la sobreexplotación y se hizo un análisis de beneficio –costo de la sobreexplotación. Esta parte del análisis se hizo con base en la información existentes y datos históricos encontrados.

Sistema de información geográfica

Al mismo tiempo que se desarrolló el estudio se generó un sistema de información en ArcView GIS 3.2, el formato de las bases de datos que alimenta al sistema fue elaborado también en un formato que puede ser reconocido y adaptado a cualquier otro tipo de sistema de información. Entre los principales datos que integran este sistema, figuran los siguientes:

- Aspectos físicos: relieve, geología.
- Hidrología: límite administrativo del acuífero, red hidrográfica, estaciones climatológicas, cuerpos de agua.
- Vegetación y uso del suelo: zonas de riego.
- Infraestructura hidráulica: presas.
- División política: municipios, ciudades, poblaciones y manchas urbanas en el área de influencia del acuífero.
- Comunicaciones: Red de carreteras por tipo, vías férreas.
- Localización de los aprovechamientos del acuífero (coordenadas geográficas y UTM)
- Características de los aprovechamientos de agua subterránea: clave, propietario, volumen concesionado, caudal, características del pozo y su equipo de bombeo, usos del agua, tecnología de riego, cultivos regados, instalaciones, etc.
- Aprovechamientos del REPDA
- Estadísticas de profundidad, elevación y evolución de niveles estáticos, en pozos de monitoreo.

Planeación participativa

La planeación participativa fue una de las actividades más importantes que se desarrollaron con los usuarios, a través del método ZOPP (“Ziel Orientierte Project Planung”, que significa Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos). Dicho método permitió, a través de talleres con los usuarios (integrantes del COTAS y demás involucrados en el manejo del agua) definir en forma consensuada las acciones a realizar y su secuencia para alcanzar los objetivos que se propusieron con respecto a la estabilización del acuífero.

Dichos talleres estuvieron a cargo de personal especializado, participando en cada uno de ellos con el objetivo de recopilar de manera detallada todas las opiniones de los usuarios, a fin de analizarlas e integrarlas en el Plan de Manejo del Agua, motivo de este estudio.

Caracterización y proyección de la demanda y la disponibilidad

En las áreas con agricultura de riego, fue necesario determinar el patrón de cultivos actual e histórico, la superficie regada por ciclo y su tendencia; el requerimiento de riego por cada cultivo, la lámina bruta empleada, los métodos de riego utilizados y la eficiencia de riego dividida en eficiencia de conducción y eficiencia de aplicación y la demanda de agua actual e histórica; todo lo anterior se hizo, para la superficie regada con agua subterránea y superficial.

Además, se analizó el efecto que ha tenido el sistema de incentivos (precios de garantía, control del estado en la comercialización de los productos, controles de mercado y subsidios a la energía eléctrica, agroquímicos, etc.) en la evolución del patrón de cultivos y por consiguiente, en la demanda de agua.

Con respecto al uso público urbano y rural, se estimaron los volúmenes utilizados por la población; con base en la facturación del organismo operador y la división de la población en grupos con similar nivel económico, además se especificaron los requerimientos per cápita de la población para determinar las diferencias entre lo que usan y lo que realmente necesitan. También se estimó la oferta total de agua potable y cuanto llega efectivamente al usuario, señalando claramente donde y como ocurren las pérdidas y que volumen representa. Se especificó qué proporción del volumen entregado a los usuarios es efectivamente facturado y bajo qué sistema de tarifas.

Respecto al uso industrial se caracterizó con base en los consumos del recurso hídrico, a partir de la facturación de la CNA.

La proyección de la demanda para el uso público urbano se realizó hasta el año 2030 con el incremento de población publicado por CONAPO. Para el uso agrícola se supuso que bajo condiciones actuales habría una disminución de 5% quinquenal, un poco menor a la tendencia que se ha observado en los últimos años, bajo condiciones de cambio tecnológico se calculó el uso agrícola de acuerdo con los escenarios paramétricos. En uso industrial, se supuso un crecimiento igual al de la población.

La proyección de la disponibilidad se calculó de acuerdo con los balances de agua subterránea.

Análisis de alternativas de manejo de la demanda y la disponibilidad

Dentro de esta actividad se analizaron las alternativas pragmáticas para reducir la demanda y aumentar la disponibilidad, tanto de agua subterránea como superficial, con base en los planteamientos obtenidos de la planeación participativa.

Se analizaron las opciones para reducir la demanda básicamente a través del uso eficiente. En particular para el uso agrícola se tomó en cuenta, además de una disminución de la extracción neta del acuífero un incremento en los ingresos netos de los agricultores.

Por ultimo, se analizaron todas las opciones para aumentar la disponibilidad y se identificaron las factibles para el valle, tanto de agua subterránea, superficial y residual tratada y no tratada. Dichas opciones se analizaron por su contribución a largo plazo.

Para ello, se consideró como básico el tratamiento, reuso del agua y la reforestación para el incremento de la recarga.

Interfase de evaluación de escenarios

A partir de conocer las características geométricas e hidrodinámicas del acuífero se generó un modelo matemático bajo el ambiente de VisualModflow 2.8.1, el cual es capaz de simular el efecto que tendrán los diferentes regimenes de extracción sobre el funcionamiento del acuífero con una proyección de 30 años, bajo los siguientes escenarios: 1) Inercial, 2) Máxima tecnificación, 3) Status Quo, 4) REPDA y 5) Condiciones de equilibrio.

Balances hídricos

Se desarrolló un balance hídrico de la zona en estudio utilizando un modelo hidráulico en el que se cuantificó cada una de las variables de entrada y salida al sistema. Preferentemente el área de balance se llevó hasta las fronteras administrativas y/o hidrogeológicas existentes y se dividió en diferentes zonas para simplificar el sistema.

Una de las tareas desarrolladas para la toma de decisiones en el plan de manejo fueron los balances de aguas subterráneas, que de manera básica consisten en registrar las entradas, salidas y el cambio de almacenamiento que se presentan en un lapso de tiempo determinado en un área del acuífero, con el propósito de cuantificar el volumen potencial de explotación. Para ello la herramienta de evaluación fue el modelo de simulación hidrogeológica desarrollado.

Los balances realizados fueron: el referente al área total del acuífero, por zonas de diferente intensidad de explotación, balance de equilibrio (donde se igualaron a la recarga del acuífero las extracciones), balance REPDA (consistente en realizar un balance considerando el volumen de extracción concesionado por el REPDA).

En los balances realizados se considero el área total del acuífero y zonas de diferente intensidad de explotación; considerando los diferentes escenarios paramétricos planteados.

Definición y análisis de escenarios paramétricos y concertados con los usuarios

Se analizaron cinco escenarios paramétricos, con el objetivo de mostrar a los usuarios los efectos en el acuífero de tales opciones de manejo. El primero se trata de un escenario inercial consistente en dejar las cosas como están, respetando el incremento en el uso público urbano e industrial. El segundo escenario considera una tecnificación inmediata pero bajo la misma superficie de cultivo actual con sistemas de riego más eficientes, modificado el suministro a la población e industria y las recargas al acuífero. Los escenarios 3 y 4 consideran la extracción actual constante y concesionada, respectivamente. Finalmente un quinto escenario tomó en

cuenta las acciones requeridas para estabilizar los niveles del acuífero bajo las condiciones actuales de uso del agua, es decir sin tener alguna tecnificación.

Este último escenario fue consultado con los usuarios, y resultó una combinación de los anteriores.

Además todos los escenarios anotados anteriormente se analizaron desde el punto de vista económico, a fin de evaluar el efecto en el acuífero y en los costos y rendimientos económicos de la región.

Integración del Plan de Manejo

A partir de los escenarios analizados y con base en la planeación participativa, el análisis de escenarios paramétricos, el análisis de alternativas de manejo de la demanda y la disponibilidad, se integró una matriz de planeación en la que se definió el objetivo superior en el que se enmarca el plan de manejo, el objetivo general y los objetivos estratégicos del plan. Para cada objetivo se definió un indicador de evaluación y una fuente de verificación. Finalmente se integraron las actividades y subactividades; así como, los resultados de cada actividad. Dichas acciones fueron base para elaborar el plan de manejo.

Con el modelo de simulación hidrodinámica y la evaluación económica de escenarios, se evaluó el impacto hidráulico de las actividades en el acuífero considerando las acciones conjuntas de reducción de la demanda y aumento de la disponibilidad del plan de manejo. Se realizó una clasificación jerárquica de las acciones de acuerdo a su impacto en el acuífero. Es decir, se determinó cuales tienen mayor o menor impacto en la reducción de la demanda, el aumento de la disponibilidad y el beneficio en los productores.

El plan de manejo incluyó un sistema de control que permitió evaluar y dar seguimiento a la eficiencia de dicho plan, confrontando el avance programado contra el real, a través de un sistema de monitoreo de diversos indicadores. En el planteamiento de dichos indicadores, se analizó la periodicidad, la forma de medición y las fuentes de datos a utilizar, así como los responsables de realizar dichas mediciones.

Lo anterior fue complementado con un esquema de retroalimentación, para ratificar o rectificar las acciones propuestas en el establecimiento del plan de manejo.

Finalmente se hizo una propuesta de Reglamento del Acuífero considerando las conclusiones de todas las actividades analizadas durante el *proceso de planeación*. Dicha propuesta toma en cuenta los aspectos legales y técnicos del plan, así como las opiniones y acciones de los usuarios a través de sus representantes en el COTAS.

1.7 Área de estudio

El área comprendida dentro del acuífero Valle de Amazcala, en el estado de Querétaro, queda delimitada por las coordenadas de la poligonal simplificada que se muestran en el Cuadro I.1 ⁽⁶⁾. Límite recientemente definido por la Gerencia de Aguas subterráneas y la Gerencia Estatal de la CNA en Querétaro

Cuadro No. 1.1 Poligonal simplificada de los límites del acuífero Valle de Amazcala, Qro.

| ACUIFERO 2202 VALLE DE AMAZCALA | | | | | | | |
|--|----------------|---------|----------|---------------|---------|----------|-----------------------------------|
| VERTICE | LONGITUD OESTE | | | LATITUD NORTE | | | OBSERVACIONES |
| | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | |
| 1 | 100 | 20 | 38.0 | 20 | 40 | 8.0 | |
| 2 | 100 | 26 | 55.0 | 20 | 44 | 20.0 | |
| 3 | 100 | 24 | 10.0 | 20 | 44 | 7.0 | |
| 4 | 100 | 23 | 3.8 | 20 | 47 | 35.6 | |
| 5 | 100 | 22 | 14.2 | 20 | 50 | 9.9 | |
| 6 | 100 | 20 | 49.3 | 20 | 50 | 39.8 | |
| 7 | 100 | 19 | 45.3 | 20 | 52 | 38.5 | |
| 8 | 100 | 20 | 19.1 | 20 | 53 | 25.7 | DEL 8 AL 9 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 9 | 100 | 15 | 48.1 | 20 | 58 | 13.3 | DEL 9 AL 10 POR EL LIMITE ESTATAL |
| 10 | 100 | 12 | 3.0 | 20 | 56 | 11.9 | |
| 11 | 100 | 13 | 14.1 | 20 | 53 | 26.6 | |
| 12 | 100 | 14 | 16.3 | 20 | 52 | 38.5 | |
| 13 | 100 | 11 | 39.9 | 20 | 50 | 54.2 | |
| 14 | 100 | 11 | 17.8 | 20 | 47 | 43.6 | |
| 15 | 100 | 9 | 23.5 | 20 | 46 | 23.4 | |
| 16 | 100 | 6 | 31.1 | 20 | 46 | 30.0 | |
| 17 | 100 | 6 | 57.1 | 20 | 43 | 50.9 | |
| 18 | 100 | 5 | 42.9 | 20 | 42 | 55.5 | |
| 19 | 100 | 10 | 19.0 | 20 | 40 | 40.0 | |
| 20 | 100 | 14 | 28.7 | 20 | 40 | 14.2 | |
| 1 | 100 | 20 | 38.0 | 20 | 40 | 8.0 | |

1.8 Localización

El acuífero del Valle de Amazcala se localiza en la porción suroccidental del estado de Querétaro entre los paralelos 20°42' y 20°50' de latitud norte y los meridianos 101°10' y 101°20' de longitud oeste, colindando al sur con el acuífero de San Juan del Río, al Poniente con los de Buenavista y Querétaro y al Oriente con el de Tolimán y Tequisquiapan.

1.9 Extensión

Este acuífero incluye principalmente al municipio de El Marques y una pequeña porción de los de Querétaro y Colón. Abarca en total 608 kilómetros cuadrados como se muestra en la Figura I.1, de los cuales 188 km² corresponden al área de valle o de explotación.

⁶ CNA. Gerencia de Aguas Subterráneas. 2003

I.10 Vías de comunicación

La zona está bien comunicada por carretera, dos vías salen de la Ciudad de Querétaro, una por la cañada que llega a Guadalupe de la Venta para entroncar hacia la izquierda con la carretera que va de Chichimequilla y a Tequisquiapan, y otra que sale también de la ciudad de Querétaro a Santa María La Begoña y que entronca a la misma carretera de Chichimequillas a Tequisquiapan.

Siguiendo por la carretera a Chichimequillas, a la izquierda entronca con la carretera doble Querétaro-San Luis Potosí. Además cruza la zona la autopista libramiento Querétaro-San Luis Potosí, la caseta de pago está precisamente a la altura de Chichimequillas. Tal como se puede observar en la Figura I.2.

Servicios adicionales como telégrafos y teléfonos comunican a casi la totalidad de las comunidades contenidas en la zona de estudio.

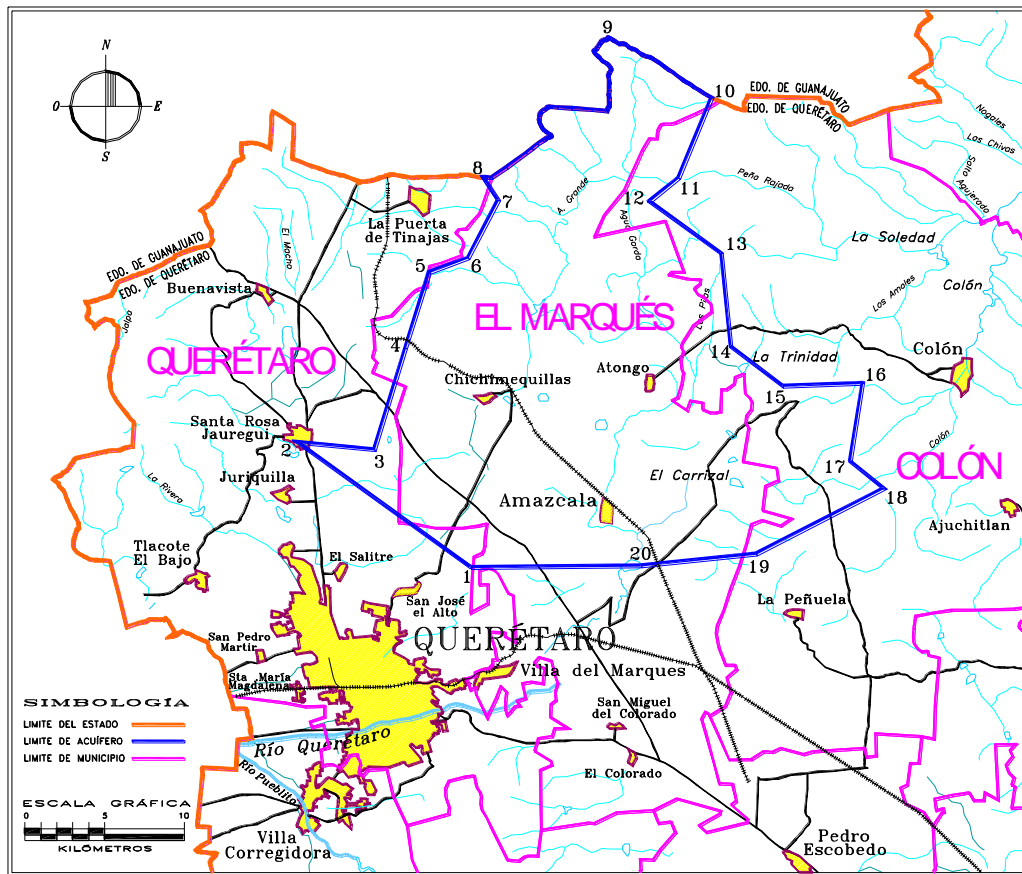


Figura No.1.1 Localización del acuífero Valle de Amazcala, Qro.



Figura No. 1.2 Vías de comunicación

CAPÍTULO II SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

II.1 Población y desarrollo socioeconómico

II.1.1 Población

El acuífero del Valle de Amazcala comprende básicamente al municipio de El Marqués y una pequeña parte de los municipios de Querétaro y Colón como se muestran en la Figura II.1. Entre las poblaciones más importantes en esta superficie se encuentran: Santa María Begoña, Chichimequillas, Amazcala, Tierra Blanca, Santa Cruz, Atongo y San Vicente Ferrer. La población total al año 2000 era aproximadamente de 35,000 habitantes, como se muestra en el Cuadro II.1.

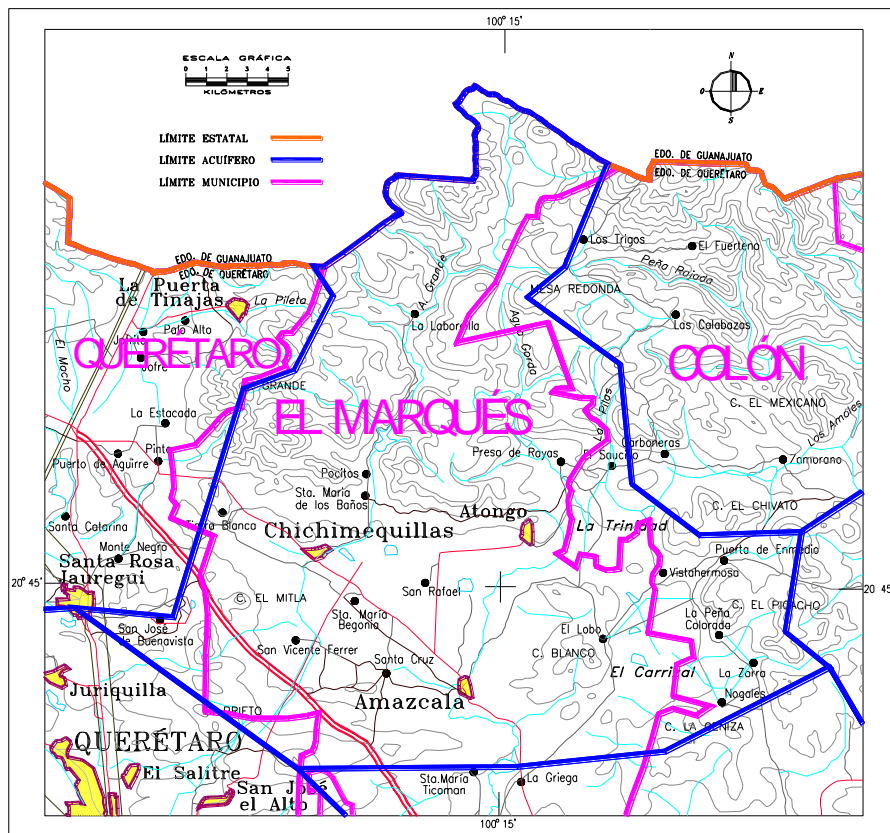


Figura No. II.1 Municipios comprendidos en el área del acuífero Valle de Amazcala

Cuadro No. II.1 Población en el año 2000 enclavada dentro del límite del acuífero de Valle de Amazcala, Qro. ⁽⁷⁾

| Municipio | Localidad | No. De habitantes al 2000 |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|
| COLON | CARBONERA, LA | 923 |
| COLON | PEÑA COLORADA | 393 |
| COLON | ZORRA, LA | 372 |
| COLON | TRIGOS, LOS | 786 |
| COLON | NOGALES | 251 |
| COLON | PUERTA DE EN MEDIO | 712 |
| COLON | PUERTO DE SAN ANTONIO | 211 |
| COLON | VISTA HERMOSA | 520 |
| Subtotal | | 4,168 |
| MARQUES, EL | ALFAJAYUCAN | 2,036 |
| MARQUES, EL | AMAZCALA | 4,279 |
| MARQUES, EL | ATONGO | 2,915 |
| MARQUES, EL | CHICHIMEQUILLAS | 3,586 |
| MARQUES, EL | DOLORES | 350 |
| MARQUES, EL | LOBO, EL | 1,480 |
| MARQUES, EL | LABORCILLA, LA | 769 |
| MARQUES, EL | POCITOS, LOS | 1,773 |
| MARQUES, EL | SAN MIGUEL AMAZCALA | 725 |
| MARQUES, EL | SAN RAFAEL | 1,817 |
| MARQUES, EL | SAN VICENTE FERRER | 1,569 |
| MARQUES, EL | SANTA CRUZ | 3,029 |
| MARQUES, EL | SANTA CRUZ PONIENTE | 11 |
| MARQUES, EL | SANTA CRUZ SUR | 4 |
| MARQUES, EL | SANTA MARIA DE LOS BAÑOS | 1,531 |
| MARQUES, EL | TIERRA BLANCA | 2,262 |
| Subtotal | | 28,136 |
| QUERETARO | SOLANA, LA | 2,682 |
| QUERETARO | SOLANA, LA SECCION ORIENTE | 35 |
| QUERETARO | SOLANA, LA SECCION PONIENTE | 25 |
| QUERETARO | SOLANA, LA SECCION SUROESTE | 11 |
| Subtotal | | 2,753 |
| TOTAL | | 35,057 |

De acuerdo a las estadísticas de CONAPO⁽⁸⁾ la proyección de la población en los municipios comprendidos en el acuífero Valle de Amazcala indican que la tasa de crecimiento disminuye con el tiempo, estimándose para 2005 de 1.48% y para el 2030 de 0.60%, pasando así de una población de 35,057 habitantes en el 2000 a 47,664 en el 2030 como se muestra en el Cuadro II.2.

⁷ INEGI

⁸ CONAPO. Pagina web <http://www.conapo.gob.mx>. consultada en abril de 2004

Cuadro No. II.2 Proyección de la población en el área del acuífero Valle de Amazcala

| AÑO | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Marqués, El (Municipio) | 73,819 | 79,437 | 84,512 | 89,268 | 93,632 | 97,400 | 100,365 |
| Tasa de crecimiento | | 1.48% | 1.25% | 1.10% | 0.96% | 0.79% | 0.60% |
| POBLACIÓN POR MUNICIPIO DENTRO DEL VALLE DE AMAZCALA | | | | | | | |
| COLON | 4,168 | 4,485 | 4,772 | 5,040 | 5,287 | 5,499 | 5,667 |
| MARQUES, EL | 28,136 | 30,277 | 32,212 | 34,024 | 35,688 | 37,124 | 38,254 |
| QUERETARO | 2,753 | 2,963 | 3,152 | 3,329 | 3,492 | 3,632 | 3,743 |
| Población acuífero | 35,057 | 37,725 | 40,135 | 42,394 | 44,466 | 46,256 | 47,664 |

II.1.2 Actividad económica

En el municipio de El Marques, el cual comprende la mayor superficie del acuífero, se tiene como actividad principal el sector primario con actividad agropecuaria, el sector secundario con actividad empresarial, y el sector terciario con empresas de servicio. La población del acuífero de Amazcala, tiene una participación con respecto al total del Estado de aproximadamente 2.5 %

Con respecto a la actividad agrícola los cultivos principales en otoño-invierno son avena forrajera, Rye Grass, cebada grano y otros; en primavera-verano se tienen los cultivos de maíz grano y maíz forrajero en verde; y como cultivo perennes: alfalfa verde (Fuente SIACAP-SAGARPA). Como se observa los cultivos predominantes son los forrajes, debido a que en los últimos años se tiene un incremento de la actividad ganadera de bovinos y aves. La producción de carne de las especies ganaderas del municipio de El Marques para 2002 en toneladas fue de: bovino 186, porcino 119, ovino 13, caprino 8, aves 40,598. Otros productos pecuarios para 2002 son: 79.7 millones de litros de leche de bovino, 165 millones de leche de caprino, 8 toneladas de lana, 9 toneladas de miel (Fuente SEDESU: Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Querétaro).

Con respecto a la actividad empresarial, existen en el municipio de El Marques, 6 empresas de alimentos, bebidas y tabaco, 6 empresas en el rubro de la electricidad y electrónica, 2 en madera, 3 en metal básica, 32 en metal mecánica y auto partes, 3 en minerales no metálicos, 5 en papel imprenta y editoriales, 4 en textiles y prendas para vestir. Con respecto al sector terciario de servicios, existen 16 empresas de servicios a la industria y 3 de servicios generales. En total se tienen 90 empresas. El Marques es el tercer municipio en el estado, con más empresas después de Querétaro y San Juan del Río (Fuente SEDESU: Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Querétaro).

Algunos índices de calidad de vida del municipio de El Marqués reportados por SEDESU se anotan a continuación: Tasa de mortalidad infantil, 29.3 defunciones por cada mil nacidos vivos, personas de 15 años o más alfabetos 86.2%, personas de 6 a 24 años que van a la escuela 54.5%, PIB per cápita en dólares ajustados 4,515, índice de sobre vivencia infantil 0.802; índice de nivel de escolaridad 0.756, índice de PIB per cápita 0.636, índice de desarrollo humano 0.731, grado de desarrollo humano medio alto.

Otros datos estadísticos interesantes del Municipio de El Marques son los que se refieren al número de asegurados por el IMSS de 1998 al 2002. Teniendo en 1998, la cantidad de 7,577 asegurados y en el 2002 la cantidad de 15,279 asegurados (Fuente SEDESU, IMSS).

La Población Económicamente Activa (PEA) del municipio de El Marques es aproximadamente de 29.2 % del total de la población, de esta PEA el 98.9% es población ocupada y solo el 1.1% desocupada; el 73.4 % corresponde a hombres y el 24.39% a mujeres. De la población económicamente inactiva 21.4 % son estudiantes; 49.4% amas de casa, 1% jubilados, 0.7% incapacitados y 27.5% se reporta en otro tipo de inactividad.

De la PEA ocupada 0.62% es profesionista, 1.53% son técnicos, 0.56% son trabajadores de la educación, 0.35% trabajadores del arte, 0.36% funcionarios y directivos, 1.1% inspectores y supervisores de industria, 15.97% trabajadores agropecuarios, 18.99% artesanos y obreros, 12.08% operadores de maquinaria fija, 8.64% ayudantes, peones o similares, 6.65% operadores de transporte, 0.54% jefes supervisores administrativos, 3.06% oficinistas, 7.93% comerciantes y dependientes, 0.62% trabajadores ambulantes, 5.06% trabajadores en servicios personales, 7.42% trabajadores domésticos, 3.47% trabajadores de protección y vigilancia, y 5.05 % no especifican su ocupación. ⁽⁹⁾

II.2 Evaluación de programas relativos al manejo del agua

En 1993 la Comisión Estatal del Agua en Querétaro realizó un programa intensivo del mejoramiento del uso del agua en la zona ⁽¹⁰⁾. Dicho programa fue estructurado por etapas y su objetivo principal fue el uso eficiente con riego presurizado, se pretendieron instalar sistemas en 1650 hectáreas, así como colocar medidores en 31 pozos con el fin de evaluar el comportamiento del acuífero, con estas acciones se buscó el ahorro del agua para disminuir la explotación y en caso de haber excedentes canalizarlos para las zonas urbanas y también la disposición de los productores para regularizar sus aprovechamientos y usar eficientemente el agua.

Con la operación del programa del Uso Eficiente del Agua en Chichimequillas-Amazcala a partir de abril de 1994, se dio seguimiento a la extracción de volúmenes de los pozos utilizados en la agricultura, obteniendo como resultado, para los ciclos agrícolas 1994-1995 y 1995-1996 que se ahorro hasta un 40% de agua por año, según se muestra en el Cuadro II.3

⁹ INEGI. Censo de población y vivienda 2002.

¹⁰ Gobierno del Estado de Querétaro. Comisión Estatal de Aguas. Programa de uso eficiente del agua en la zona de Chichimequillas-Amazcala. Abril de 1997.

Cuadro No. II.3. Resultados del Programa Estatal de Uso Eficiente del Agua ⁽¹¹⁾

| CON RIEGO TECNIFICADO | | | | | |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|---|---|
| ETAPA | NUMERO DE POZOS | SUPERFICIE DE RIEGO (ha) | GASTO Q (lps) | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN hm³ ANTES DEL RIEGO TECNIFICADO | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN hm³ CON RIEGO TECNIFICADO |
| I (1994) | 26 | 1342 | 901 | 25.67 | 10.44 |
| II (1996) | 25 | 1079 | 854 | 16.46 | 10.64 |
| III (1997) | 11 | 432 | 340 | 5.3 | 3.84 |
| IV (1998-1999) | 13 | 660 | 425.5 | 7.97 | 4.94 |
| TOTALES | 75 | 3513 | 2520.5 | 55.4 | 29.86 |

| NO TECNIFICADOS | | | | | |
|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------|---|--|
| TENENCIA | NUMERO DE POZOS | SUPERFICIE DE RIEGO (ha) | GASTO Q (lps) | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN hm³ | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN hm³ CON RIEGO TECNIFICADO (AHORRO DE UN 38%) |
| P. PROPIEDAD | 17 | 434 | 364.6 | 6.39 | 3.96 |
| SECTOR SOCIAL | 13 | 578 | 412.12 | 6.76 | 4.19 |
| TOTALES | 30 | 1012 | 776.72 | 13.15 | 8.15 |

Asimismo, en lo que respecta al tipo de sistemas de riego promovidos, al número de pozos activos y a las superficies beneficiadas por sistemas de riego, implementados durante el programa uso eficiente del agua, se presenta a continuación en el cuadro II.4.

Cuadro No. II.4. Superficie beneficiada del Valle de Chichimequillas-Amazcala con Sistema de Riego utilizados (1998)

| SISITEMAS DE RIEGO | NUMERO DE POZOSO TECNIFICADOS | SUPERFICIE |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| SIN EQUIPO | 43 | 1,596 |
| COMPUERTAS | 14 | 795 |
| VALVULA ALFALFERA | 4 | 97 |
| ASPERSIÓN | 37 | 1,778 |
| PIVOTE CENTRAL | 4 | 207 |
| GOTEO | 3 | 120 |
| TOTAL | 105 | 4,593 |

Otros programas aplicados al Valle de Amazcala relacionados con el manejo del agua, son los implementados a nivel estatal con el Programa de Alianza para el campo. Cabe mencionar que las estadísticas se presentan por municipio y no por acuífero, en tal sentido a continuación se muestran algunos datos del municipio de El Marques.

Entre estos programas están: el Programa Uso Pleno de la Infraestructura Hidroagrícola (UPIH) desde 1997, el Programa de Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica (UEAEE), el Programa de Fertirrigación, desde 1996 que luego se convirtió en Programa de Tecnificación del Riego en el 2000 y de Manejo Integral desde 2002.

¹¹ Programa de uso eficiente del agua en la zona de Chichimequillas-Amazcala.

Según estadísticas de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDEA) correspondientes para todo el Estado de Querétaro, hasta el 2002 con el Programa de UPIH se ha logrado un ahorro en la extracción del volumen de agua de 5'151,600 m³; con el programa de UEAAE se ha logrado un ahorro de 9'564,600 m³, y con los Programas de Fertirrigación, Tecnificación del Riego y Manejo Integral un ahorro de 17'103,500 m³. Estos programas aplicados en todo el estado han tenido una inversión total de \$44'261,104, beneficiando a 780 unidades de riego, 42,439.5 ha y 8253 productores.

En lo que se refiere a el municipio de El Marqués, con el programa de UEAAE se han beneficiado 440 productores, 2632 ha con una inversión de \$ 6'346,500 pesos. Con los programas de fertirrigación, tecnificación del riego y manejo integral se han beneficiado a 658 productores, 5,248.8 ha con una inversión de \$ 40' 334,634.4. Ver Cuadro II.5.

Cuadro No. II.5 Evolución del programa de Fertirrigación, tecnificación del riego y manejo integral de la Alianza para el Campo, en el municipio El Marques

| Año | Numero de proyectos | Costo total de los Proyectos (\$) | | | Superficies (ha) | Productores Beneficiados |
|--------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| | | Total | Alianza | Productores | | |
| 1996 | 14 | 5'102,997.00 | 1'939,534.00 | 3'163,463.00 | 871.00 | 32 |
| 1997 | 16 | 5'286,200.00 | 2'452,825.95 | 2'833,374.05 | 968.90 | 77 |
| 1998 | 22 | 9'371,848.45 | 4'629,160.77 | 4'742,687.68 | 1,210.78 | 207 |
| 1999 | 8 | 2'809,857.76 | 1'562,109.32 | 1'247,748.44 | 433.00 | 79 |
| 2000F | 10 | 3'205,306.13 | 1'435,255.00 | 1'770,051.13 | 397.70 | 28 |
| 2000T | 3 | 982,892.68 | 323,700.00 | 659,192.68 | 41.50 | 3 |
| 2001 | 13 | 6'687,588.21 | 3'335,340.00 | 3'352,248.21 | 693.00 | 105 |
| 2002 | 14 | 6'887,944.20 | 3'542,331.00 | 3'345,613.20 | 633.00 | 127 |
| TOTAL | 100 | 40'334,634.43 | 19'220,256.04 | 21'114,378.39 | 5,248.88 | 658 |

En el siguiente cuadro II.6, indica por año, el tipo y número de sistemas de riego adquiridos apoyados por medio de la Alianza para el Campo para el municipio El Marques, haciendo un total de 100.

Cuadro No. II.6 Sistemas de riego adquiridos entre 1996-2002 ⁽¹²⁾

| MUNICIPIO | SISTEMAS DE RIEGO | CANTIDAD DE SISTEMAS DE RIEGO ADQUIRIDOS | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000F | 2000T | 2001 | 2002 |
| EL MARQUES | ASPERION SIMPLE | 6 | | | 2 | | | 1 | 1 |
| | CAÑON | 1 | 2 | | | | | | |
| | GOTEO | 1 | 1 | 1 | | | 3 | 3 | 3 |
| | MULTICOMPERTAS | 4 | 9 | 18 | 6 | 5 | | 9 | 9 |
| | SIDE ROLL | 2 | 1 | | | 1 | | | 1 |
| | ASPERION PORTATIL | | 2 | 3 | | | | | |
| | PIVOTE CENTRAL | | 1 | | | | | | |
| | ASPELOR MANUAL | | | | | 4 | | | |
| TOTAL | | 14 | 16 | 22 | 8 | 10 | 3 | 13 | 14 |

¹² Fuente: INIFAP. PRODUCE

Todos estos programas han permitido que en el área bajo riego el acuífero Valle de Amazcala tenga un alto grado de tecnificación.

II.3 Climatología

II.3.1 Clima

Según el método de Wilhem Köpen, modificado por Enriqueta García, el clima dominante en el área que cubre al acuífero se clasifica como tipo de climas semisecos BS_1 , subtipo semiseco templado BS_{1kw} , existiendo hacia el norte, en su parte alta, un tipo de clima templado subhúmedo $C(W_0)$; en la parte del volcán Zamorano se tiene un tipo de clima semifrío húmedo $C(E)(W_2)$, como se puede observar en la Figura II.2, con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2⁽¹³⁾.

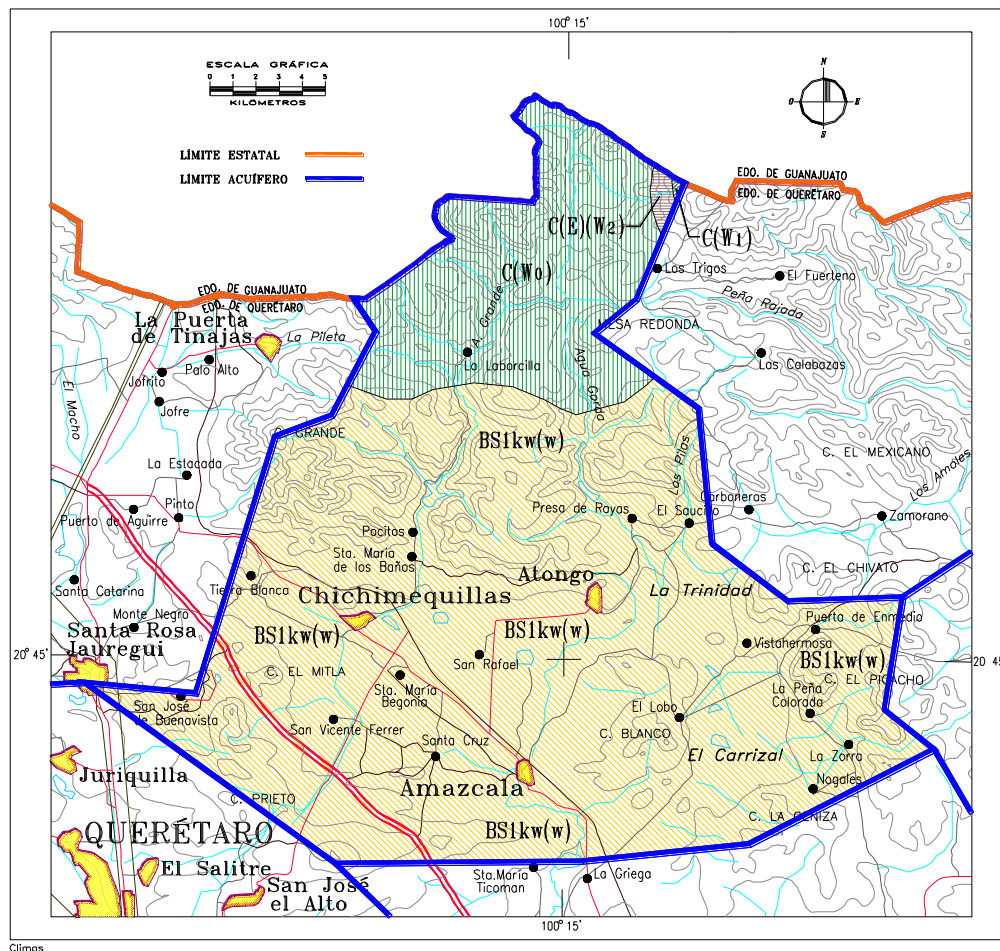


Figura No. II.2 Distribución de climas

¹³ SPP. Atlas del medio físico. 1981.

II.3.2 Precipitación pluvial

La precipitación media anual estimada de acuerdo a las Normales Climatológicas para el área de estudio es del orden de 520 mm por año, según se muestra en la Figura II.3.

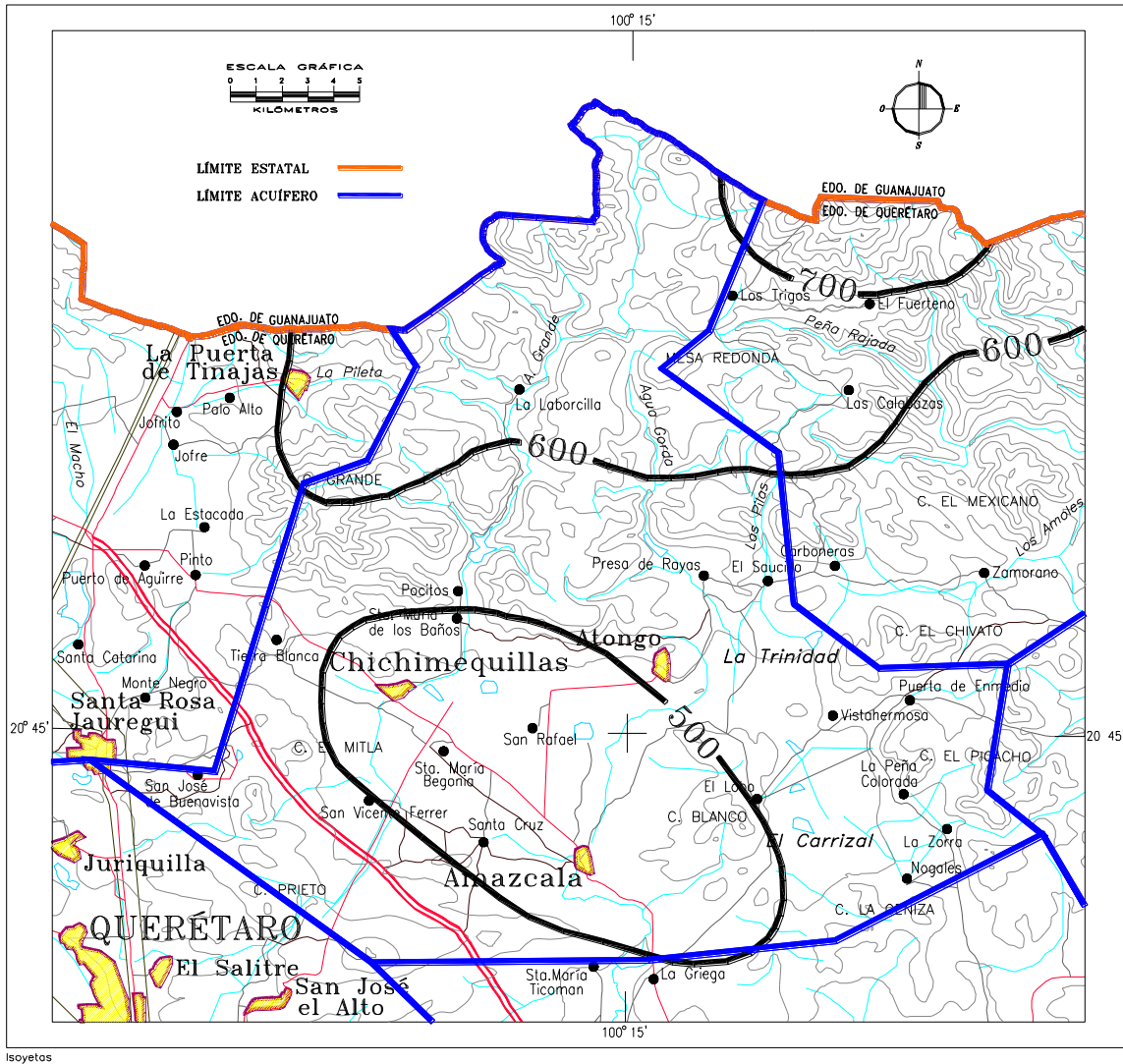


Figura No. II.3 Precipitación media anual mm/año

II.3.3 Temperatura y evaporación potencial

La temperatura promedio estimada de acuerdo a las Normales Climatológicas para el área de estudio es de 17° C (Figura II.4).

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

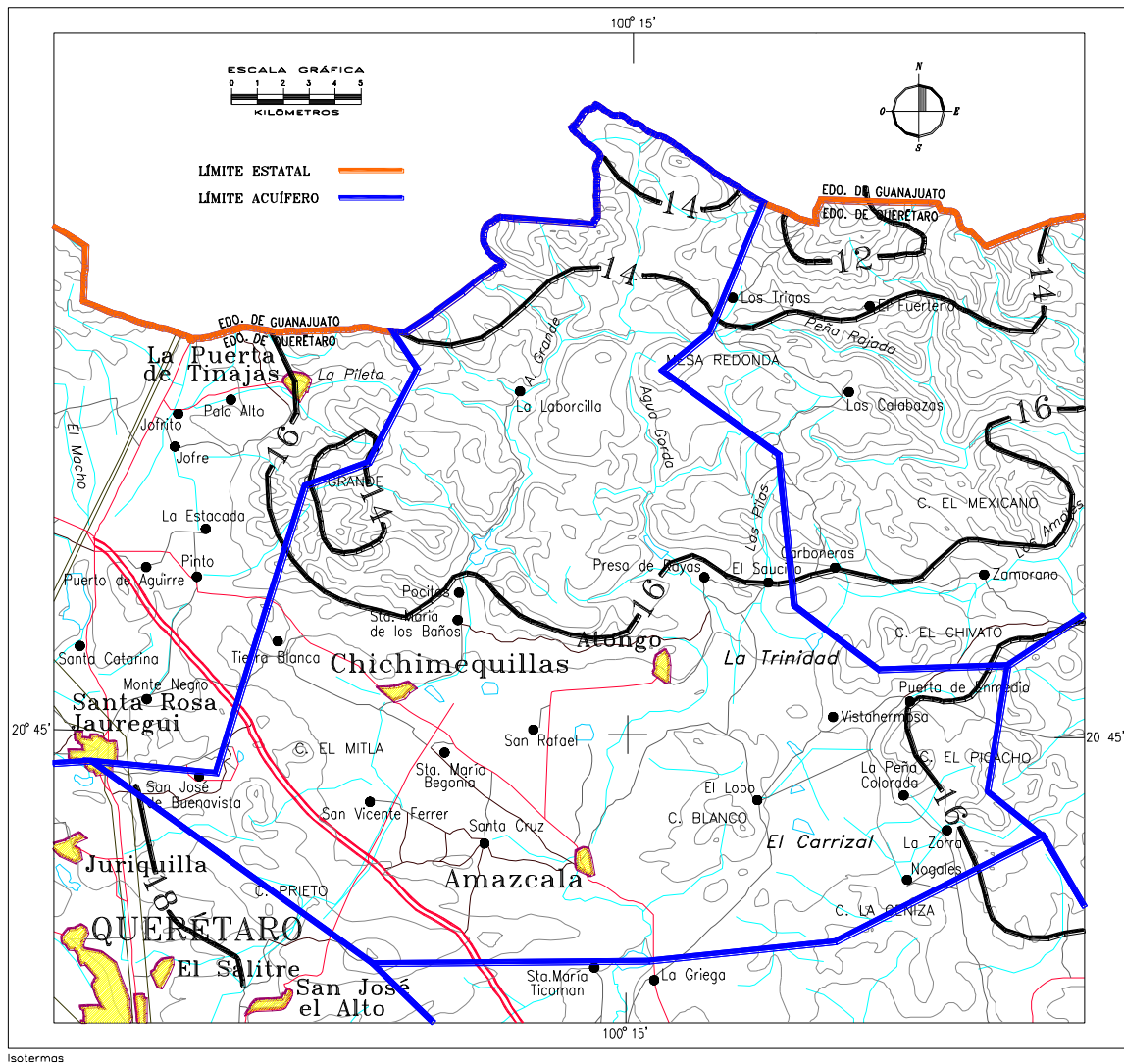


Figura No. II.4 Temperaturas medias anuales °C

La evaporación potencial en el acuífero Valle de Amazcala se estima que varía entre 2,050 y 2,200 mm por año.

II.4 Caracterización de los aprovechamientos de agua subterránea

Con base en los datos del estudio realizado por la Comisión Nacional del Agua en 1991⁽¹⁴⁾ en el año de 1987 en la región de Amazcala existían 108 aprovechamientos activos de agua subterránea, de los cuales 89 eran de uso agrícola, 17 de agua potable y 2 de uso doméstico-

¹⁴ Estudio Prioritario del Estado de Querétaro, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Administración del Agua, 1991.

abrevadero, a través de los cuales se extraían 58.0 hm³/año; asimismo, en ese estudio se indica que en el año de 1991 se extraían 75.4 hm³/año, valor probablemente sobrestimado, como se puede deducir de la información subsiguiente.

Del estudio de 1993 ⁽¹⁵⁾, que comprendió a los acuíferos de Buenavista y Chichimequillas, se identificaron para esas zonas un total 225 aprovechamientos subterráneos, correspondiendo a 4 manantiales, 26 norias y 195 pozos; de este total sólo 135 aprovechamientos se encontraban activos, con los cuales se extraía del orden de 59.7 hm³/año. Respecto al acuífero de Chichimequillas, también conocido como Valle de Amazcala, se indica en el mismo estudio, que para el año de 1965 la extracción de agua subterránea era del orden de 16.3 hm³/año, por medio de 29 pozos; posteriormente, y con base a datos de la hidrometría de mayo de 1993, se reconstruyó el bombeo proveniente de este acuífero, y se calculó que la extracción de agua bombeada a través de 114 pozos, era del orden de 64 hm³/año.

Por otra parte, de conformidad con el documento “Acta de Instalación del comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) acuífero del Valle de Amazcala” ⁽¹⁶⁾ el acuífero presenta diferentes extracciones entre el año 1980 y 1997, ver Cuadro No. II.7

Cuadro No. II.7 Extracciones de agua subterránea ⁽¹⁷⁾

| Uso | 1980 | 1990 | 1993 | 1997 |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Agrícola | 48.5 | 58.3 | 65.0 | 48.0 |
| Público Urbano | 3.0 | 1.7 | 1.5 | 6.2 |
| Pecuario | 1.4 | 1.8 | 0.5 | 0.8 |
| Total | 52.9 | 61.8 | 67.0 | 55.0 |

De acuerdo a información del estudio de 1995 ⁽¹⁸⁾ para los años 1994 y 1995, el número de aprovechamientos subterráneos era de 148 pozos como se muestra en el anexo 1, de los cuales, durante el año de 1994 se encontraban 117 activos con los que se bombearon del orden de 58.2 hm³/año, 22 presentaban un volumen de cero y 9 se indicaban como inactivos, ver Cuadro II.8 y Figura II.5. Para el año 1995 el número de pozos señalados como activos fue de 109 pozos por medio de los que se extraían 50.0 hm³/año, el resto o estaba inactivo, tapado o se desconocía su estado, ver Figura II.7 cabe mencionar que dentro de los volúmenes antes citados se incluyen 150 lps provenientes de pozos que maneja la CEA y que se exportan a la ciudad de Querétaro para integrarse al suministro de agua potable de esa ciudad.

De acuerdo a estos estudios, se observa que la extracción para uso agrícola aumento de 1980 a 1993, siguiendo una disminución hacia 1995 y aun mayor para 1997.

¹⁵ Estudio geohidrológico y simulación matemática de los valles de Chichimequillas y Buenavista, ubicados en el estado de Querétaro, elaborado por GUYSA, 1993, para el gobierno del estado de Querétaro, Comisión Estatal de Aguas.

¹⁶ Acto de Instalación del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) acuífero del Valle de Amazcala, Gerencia Estatal Querétaro, Subgerencia Técnica, Aguas Subterráneas, septiembre de 1998.

¹⁷ CNA. Documento de instalación del COTAS del acuífero Valle de Amazcala.

¹⁸ Actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro, elaborado por GUYSA, 1995, para el gobierno del estado de Querétaro, Comisión Estatal de Aguas.

Cuadro No. II.8 Aprovechamientos localizados en el acuífero del Valle de Amazcala, Qro. (1994)

| | Total de pozos | Volumen hm ³ /año | % |
|-------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| Agrícola | 112 | 43.96 | 87.1% |
| Público urbano | 16 | 1.21 | 2.4% |
| Pecuario | 12 | 0.58 | 1.1% |
| Exportación a Querétaro | 4 | 4.73 | 9.4% |
| Inactivos | 4 | | |
| TOTAL | 148 | 50.48 | 100.00% |

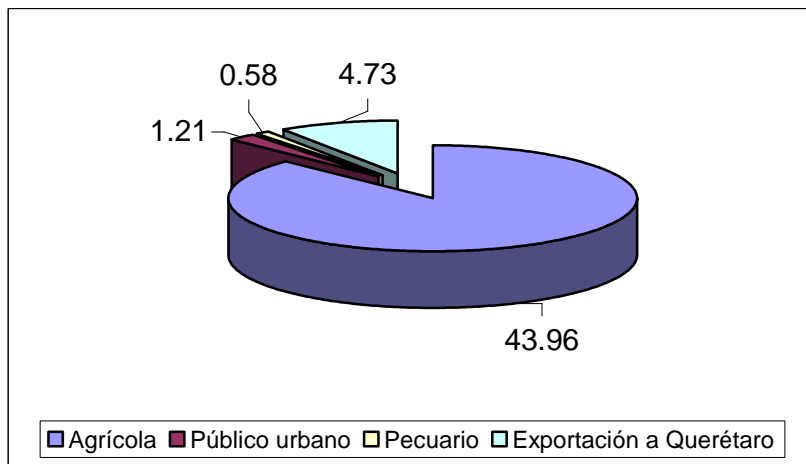


Figura No. II.5 Extracciones brutas de agua subterránea hm³/año

En el año de 1996 se elaboró el modelo de simulación de flujo hidráulico subterráneo del valle de Chichimequillas⁽¹⁹⁾, donde se menciona que la extracción de agua subterránea considerada para los años 1994 y 1995 era de 55.0 y 50.5 hm³/año respectivamente. El censo se presenta en el Anexo 1.

Respecto a los volúmenes de agua subterránea concesionados en el REPDA y asignados al acuífero del Valle de Amazcala al 30 de abril del 2002, que consideran la zona de la Griega, estos fueron de 75.868975 hm³/año, cifra que se actualizó el 23 de septiembre de 2003⁽²⁰⁾, con un volumen del orden de 63.3 hm³/año, los cuales se extraen a través de 200 aprovechamientos como se muestra en el Cuadro II.9 y Figura II.6 e indican que el principal uso es el agrícola con el 81.2 % del total. En la Figura II.8 se muestra la localización de los pozos que cuentan con concesión en el REPDA⁽²¹⁾. En el Anexo 2 se presenta la información del REPDA.

¹⁹ Modelo matemático de simulación de flujo hidráulico subterráneo del valle de Chichimequillas, elaborado por GUYSA, 1996, para el gobierno del estado de Querétaro, Comisión Estatal de Aguas.

²⁰ CNA. Gerencia del Estado de Querétaro.

²¹ CNA. REPDA. 23 de septiembre de 2003.

Cuadro No. II.9 Concesiones inscritas en el REPDA en el Valle de Amazcala

| Uso | No. De Pozos | Volumen hm ³ /año | % |
|----------------|--------------|------------------------------|--------|
| Agrícola | 151 | 51.4 | 81.20 |
| Público Urbano | 21 | 6.8 | 10.74 |
| Pecuario | 11 | 1.4 | 2.21 |
| Industrial | 3 | 0.4 | 0.63 |
| Múltiples | 14 | 3.3 | 5.21 |
| Total | 200 | 63.3 | 100.00 |

*23 de Septiembre de 2003

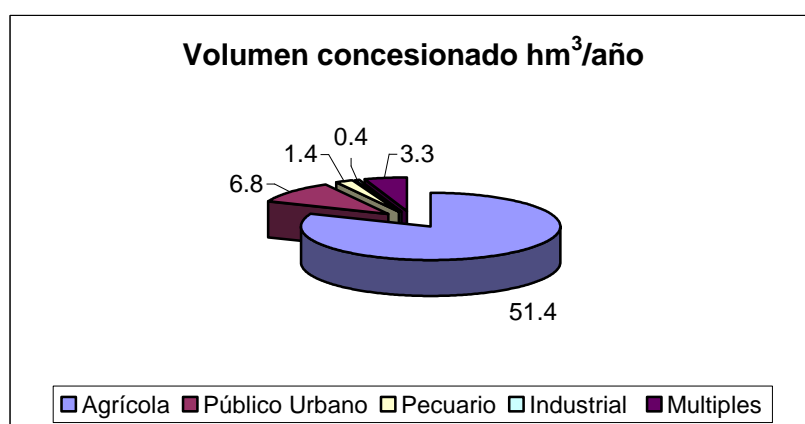


Figura No. II.6 Volumen concesionado hm³/año

En el Cuadro II.10, se muestran los volúmenes de agua subterránea concesionados en el REPDA, obtenidos por el Colegio de Postgraduados en colaboración con la Comisión Nacional del Agua, en base al análisis de distribución espacial de los pozos que quedan inscritos dentro de los *nuevos límites del acuífero*, ver Figura II.9, por lo que los pozos reportados anteriormente para la zona de La Griega (con el nombre Amazcala-La Griega) no se tomaron en cuenta.

Cuadro No. II.10 Concesiones asignadas e inscritas en el REPDA en el Valle de Amazcala obtenidas dentro del límite del acuífero

| Uso | No. de Pozos | Volumen hm ³ /año | % |
|------------|--------------|------------------------------|--------|
| Agrícola | 96 | 27.05 | 72.01 |
| Potable | 15 | 6.52 | 17.35 |
| Abrevadero | 12 | 4.00 | 10.64 |
| Total | 123 | 37.57 | 100.00 |

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

Con objeto de conocer en forma integrada la evolución de los volúmenes de extracción de agua subterránea antes mencionados del acuífero del Valle de Amazcala, en el Cuadro II.11 se presenta una evolución de dichos volúmenes a través del tiempo.

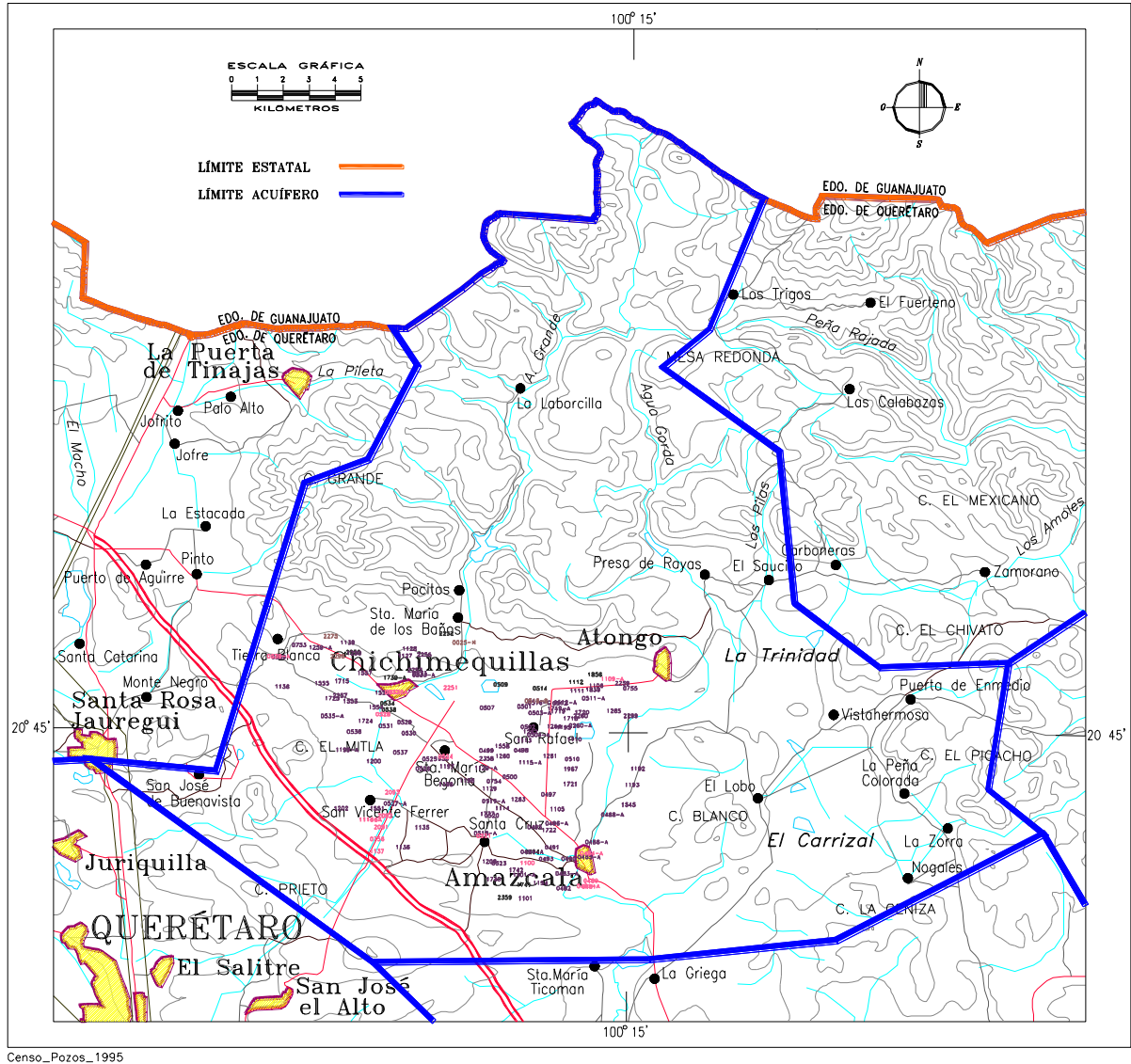


Figura No. II.7 Localización de pozos de acuerdo al estudio de GUYSA

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

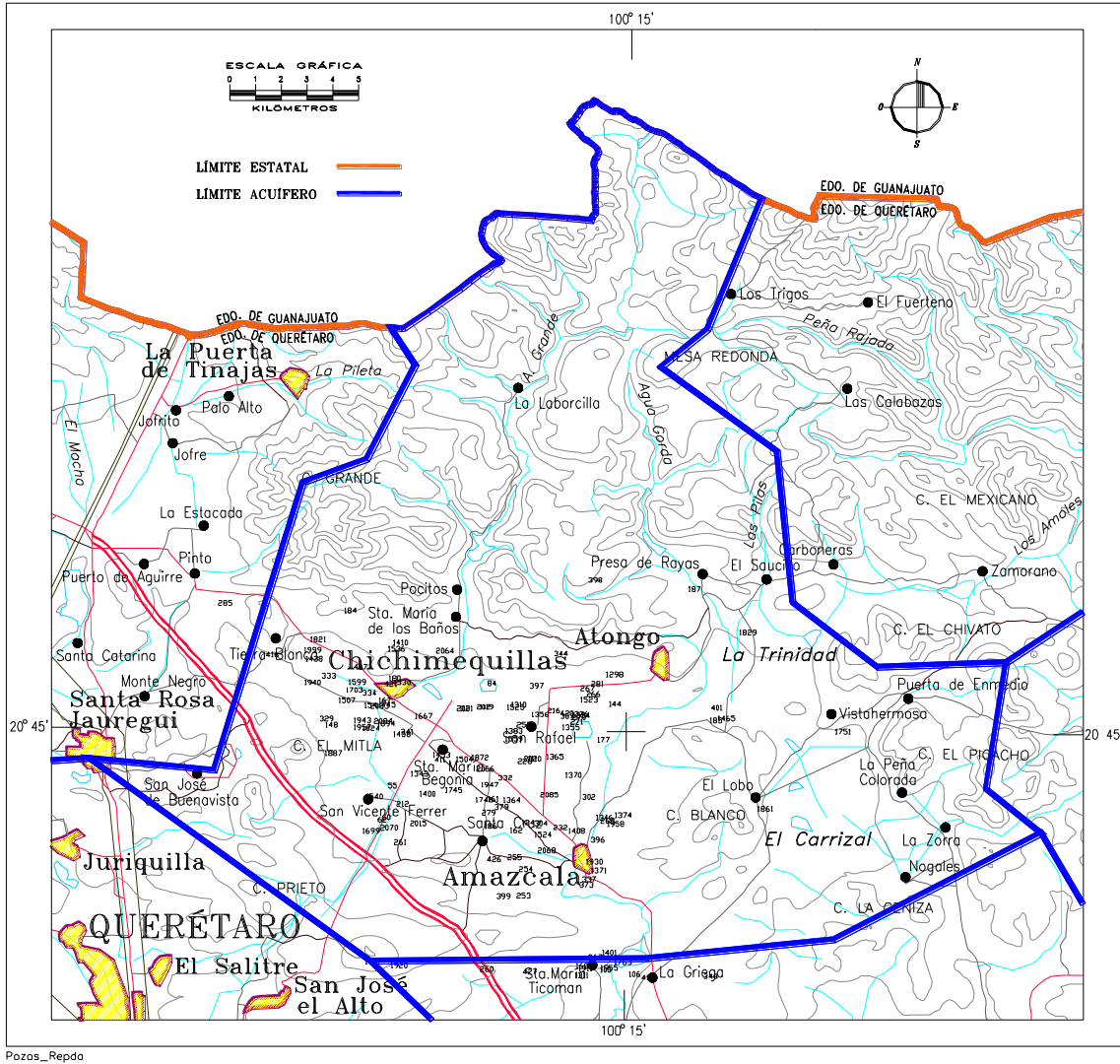


Figura No. II.8 Localización de Pozos, REPDA

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

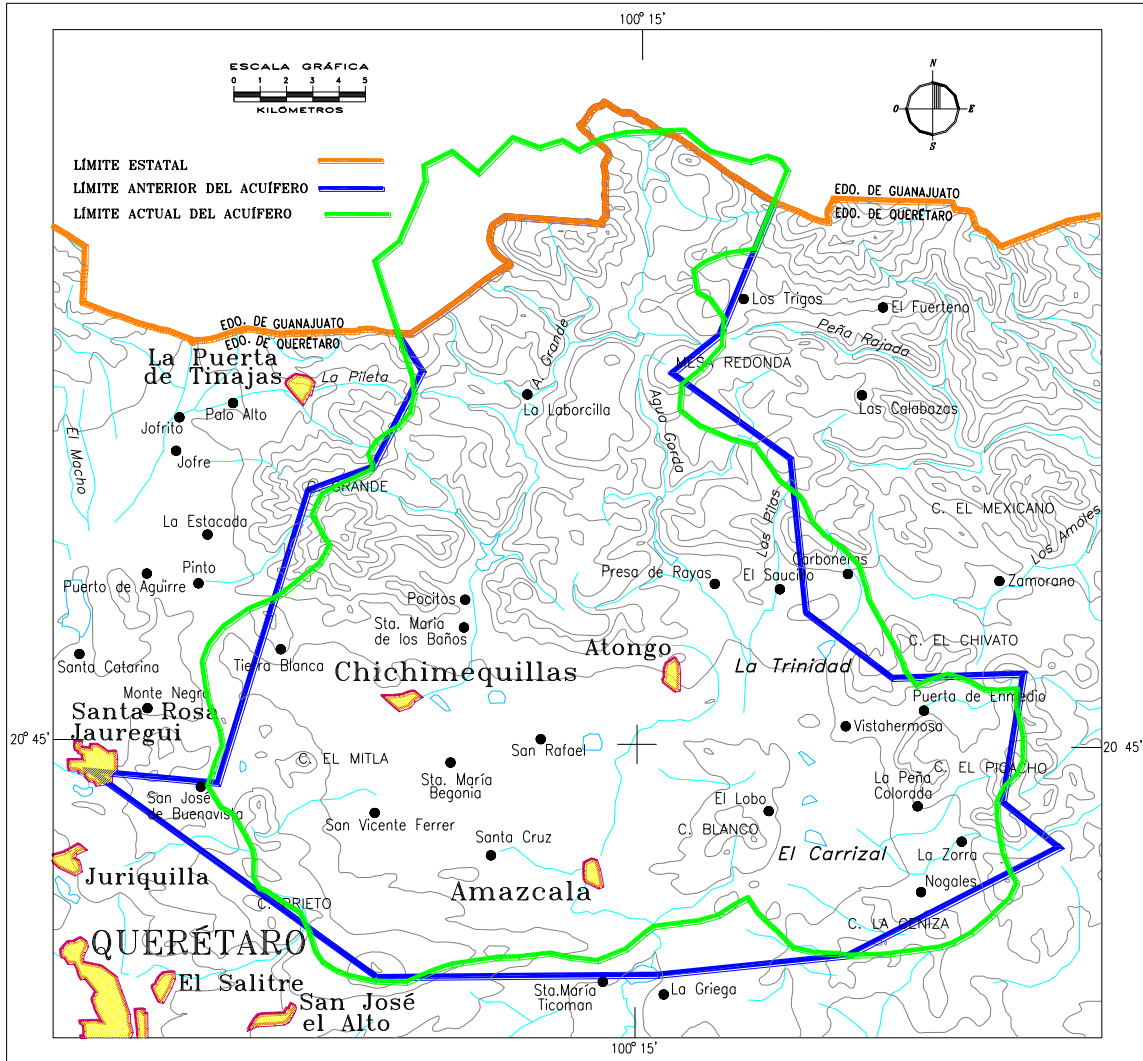


Figura No. II.9 Límite anterior y actual del acuífero Valle de Amazcala

Cuadro No. II.11 Evolución de volúmenes de extracción en el acuífero Valle de Amazcala (hm³/año)

| Estudio y/o Fuente de información | Acuífero | Año | Total Aprovechamientos | Activos | Número de aprovechamientos por uso | | | | | | Extracción hm ³ /año | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|------|------------------------|---------|------------------------------------|----------------|----------------------|------------|-------|-------|---------------------------------|----------------|----------------------|------------|-------|---------------------------------------|-------------|
| | | | | | Agrícola | Público Urbano | Doméstico y Pecuario | Industrial | Otros | Total | Agrícola | Público Urbano | Doméstico y Pecuario | Industrial | Otros | Extracción Total hm ³ /año | |
| 1 | Amazcala | 1965 | | 29 | | | | | | | | | | | | | 16.3 |
| 2 | Amazcala | 1980 | | | | | | | | | 48.5 | 3.0 | 1.4 | 0.0 | 0.0 | | 52.9 |
| 3 | Amazcala | 1987 | | 108 | 89 | 17 | 2 | 0 | 0 | 108 | | | | | | | 58.0 |
| 2 | Amazcala | 1990 | | | | | | | | | 58.3 | 1.7 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | | 61.8 |
| 3 | Amazcala | 1991 | | | | | | | | | | | | | | | 75.4 |
| 1 | Buena Vista y Amazcala | 1993 | 225 | 135 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Amazcala | 1993 | | 114 | | | | | | | | | | | | | 64.0 |
| 2 | Amazcala | 1993 | | | | | | | | | 65.0 | 1.5 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | | 67.0 |
| 4 | Amazcala | 1994 | 148 | 117 | | | | | | | 50.6 | 7.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | | 58.2 |
| 4 | Amazcala | 1995 | 148 | 109 | | | | | | | 43.4 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | | 50.0 |
| 2 | Amazcala | 1997 | | | | | | | | | 48.0 | 6.2 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | | 55.0 |
| 5 | Amazcala | 2002 | | | 85 | 12 | 14 | 0 | 0 | 111 | 54.5 | 6.5 | 4.1 | 0.0 | 0.0 | | 65.1 |
| 6 | Amazcala | 2003 | 200 | 200 | 151 | 21 | 11 | 3 | 14 | 200 | 51.4 | 6.8 | 1.4 | 0.4 | 3.3 | | 63.3 |

Fuente de Información

1. Estudio geohidrológico y simulación matemática de los valles de Chichimequillas y Buena Vista, ubicados en el estado de Querétaro, elaborado por GUYSA, 1993 para el gobierno del estado de Qro, Comisión Estatal de Aguas.
2. Acto de Instalación del COTAS. Gerencia Estatal Querétaro, Subgerencia Técnica, Aguas Subterráneas, septiembre 1998.
3. Estudio prioritario del estado de Querétaro. CNA, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Administración del Agua, 1991.
4. Actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro, elaborado por GUYSA, para el gobierno del estado de Querétaro, Comisión Estatal de Aguas, 1995.
5. CEA, Querétaro. Identificación de impactos al acuífero de San Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implementación del Proyecto: “Riego a la demanda en el Distrito de Riego 023 San Juan del Río” estado de Querétaro.
6. REPGA, 2003

De los estudios anteriores se concluye, que existe una variabilidad de los datos referentes al total de aprovechamientos, número de aprovechamientos por uso y volúmenes de extracción y a pesar de la dispersión de la información se muestra una tendencia al aumento de dichas extracciones, ver Cuadro II.11.

La Figura II.10 muestra la evolución de los volúmenes extraídos totales reportados en estudios anteriores. Cabe mencionar que para el año de 1995 el volumen de extracción para uso agrícola disminuyó, debido a que en el año 1994 se implemento el programa de uso eficiente. A partir de 1996 continua la tendencia de aumento en los volúmenes de extracción aun que no tan pronunciada. Aunque cabe aclarar, que los datos anteriores corresponden a áreas y zonas arbitrarias y no necesariamente coinciden con el nuevo límite del acuífero.

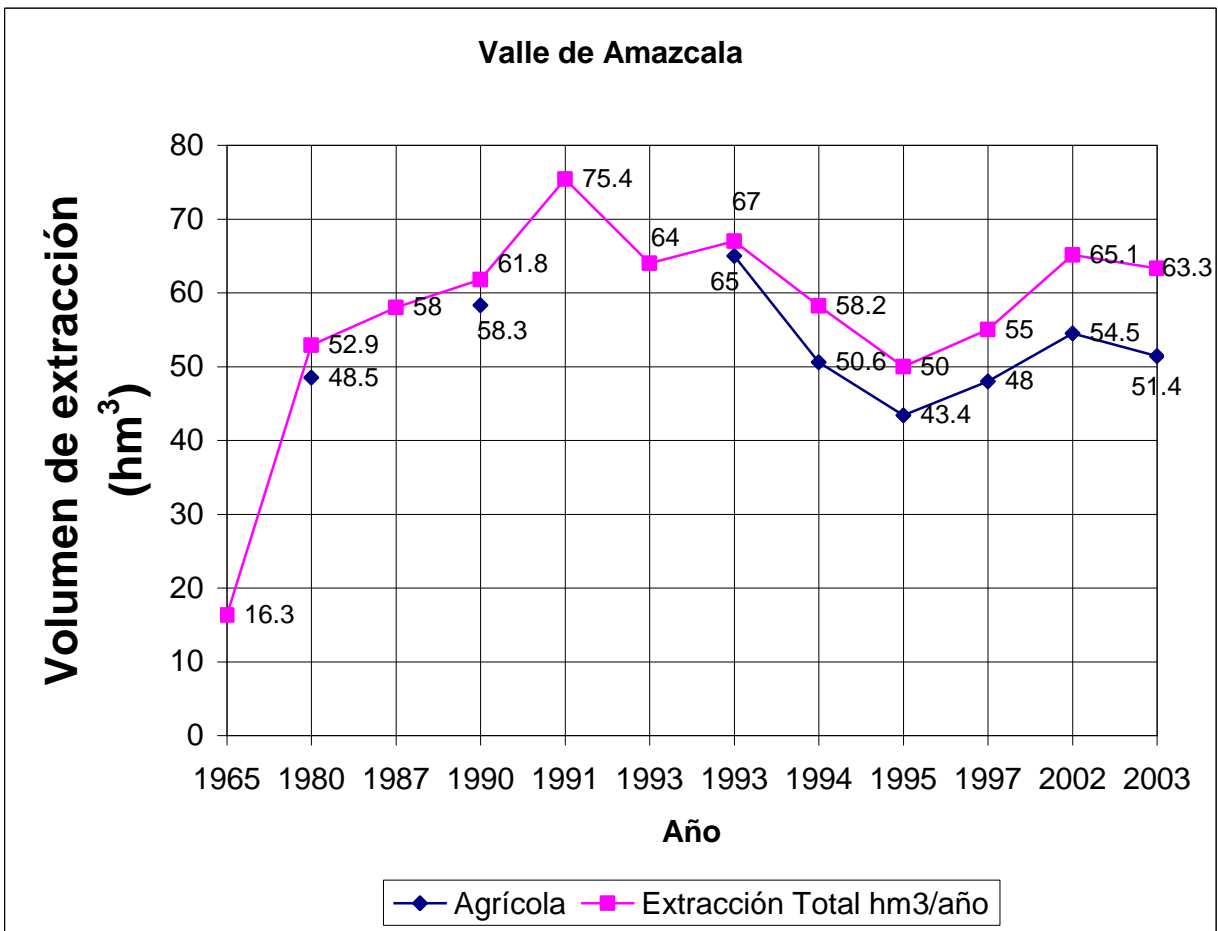


Figura No. II.10 Extracciones de agua subterránea reportadas en estudios anteriores

II.5 Aguas subterráneas

II.5.1 Fuentes de recarga vertical inducida

Las fuentes de recarga vertical inducida son dos: a) la generada por excedentes de riego en la actividad agrícola; y b) por fugas de los sistemas de agua potable y alcantarillado en las áreas urbanas, como las de Chichimequillas y Amazcala. La recarga vertical natural está representada por la infiltración de la lluvia.

II.5.2 Piezometría

Elevación del nivel estático

De las piezometrías regionales, fue posible delimitar como zonas de recarga natural del acuífero del valle, las que se localizan a lo largo de la sierra hasta Santa María de los Baños, generando un flujo general subterráneo NW-SE hasta el poblado de Chichimequillas; en esta zona se observa la tendencia de diferentes flujos hacia un cono de abatimientos que se forma en las cercanías de Amazcala y el poblado Santa Cruz, zona de marcada sobreexplotación local. Este flujo general NW-SE se une a los provenientes del norte desde las serranías En-Medio y el El Zamorano, para adoptar en la planicie un sentido prácticamente N-S, para confluir al cono de abatimientos que se presenta en el centro del valle hasta sus límites con el acuífero de San Juan del Río⁽²²⁾. En las Figuras II.11 y II.12 se muestran las configuraciones de las curvas de igual elevación del nivel estático para 1993 y 1995.

Por otro lado, la salida por flujo subterráneo marcada en las configuraciones de elevaciones de los niveles estáticos del año 1993, está indicada con rumbo N-S o ligeramente NW-SE, representando a su vez una alimentación horizontal subterránea al acuífero del valle de San Juan del Río, la cual actualmente ha desaparecido debido al cono de abatimiento que se genera hacia el centro del valle, como se aprecia en las Figuras II.11 y II.12.

²² Opus. Cit . Identificación de impactos al acuífero Valle de San Juan del Río - Pedro Escobedo... CEA y UAQ. 2000.

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

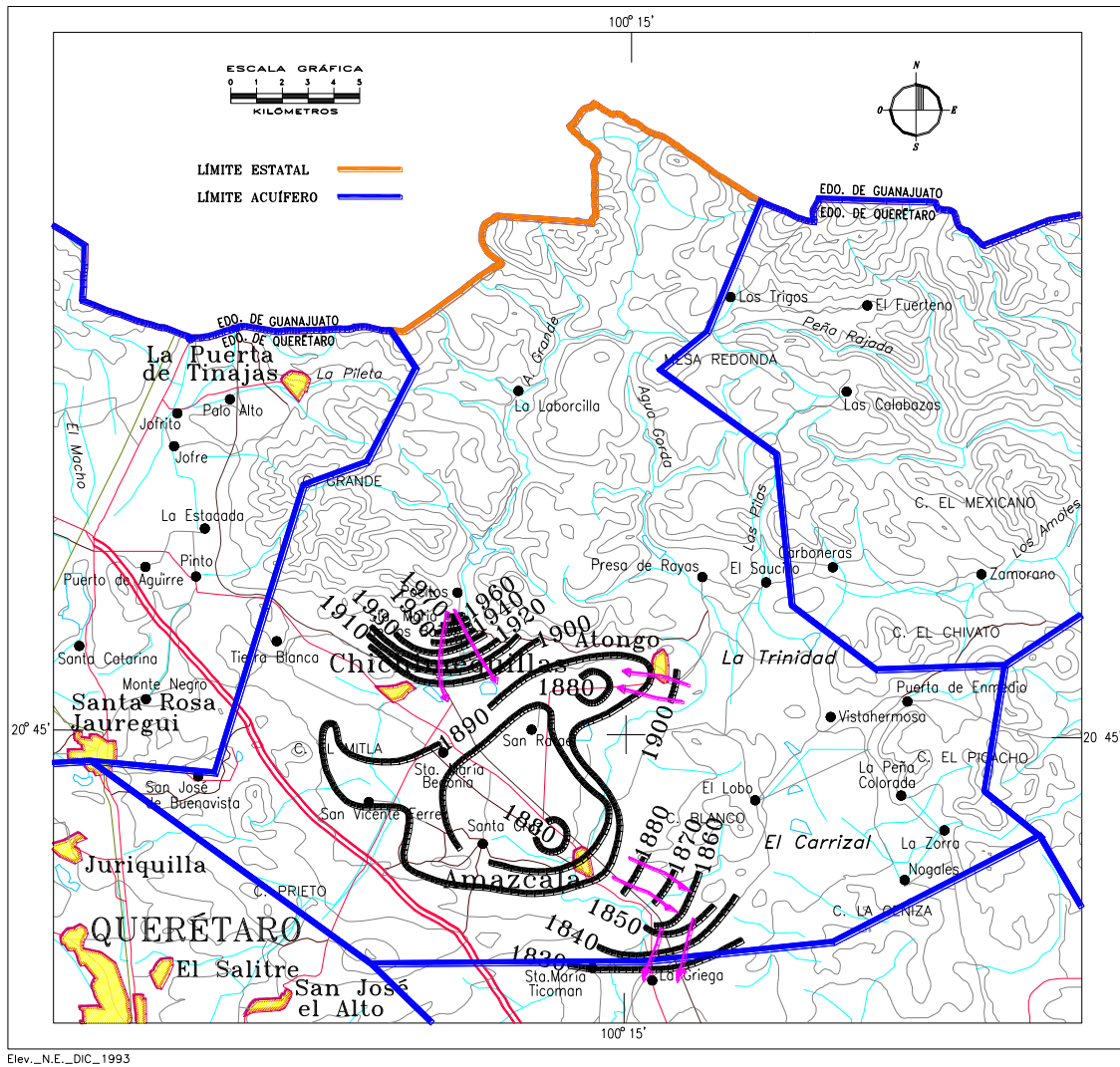


Figura No. II.11 Curvas de igual elevación al nivel estático 1993

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

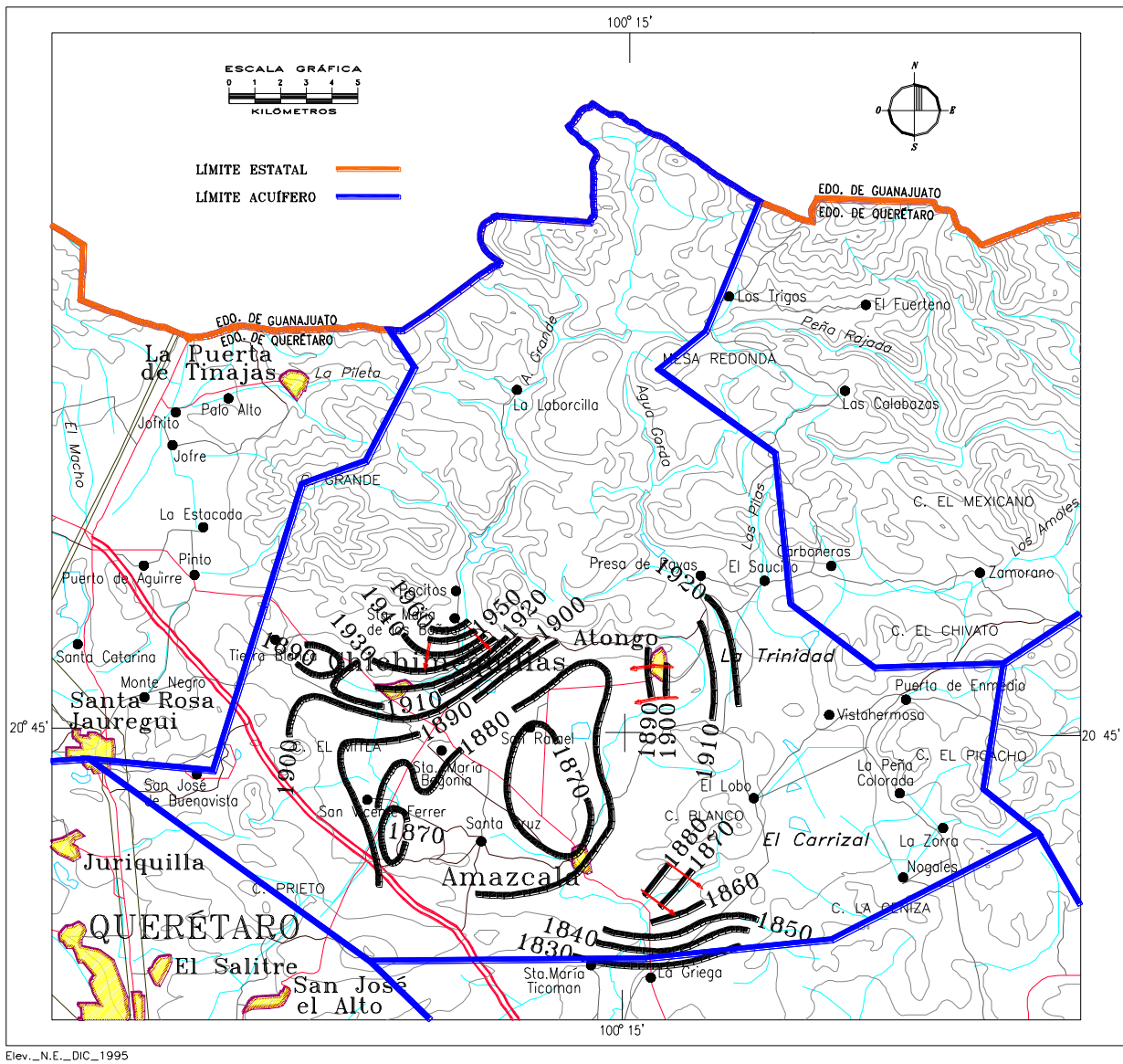


Figura No. II.12 Curvas de igual elevación al nivel estático diciembre 1995

De las mediciones realizadas en pozos piloto en el año de 2003 se elaboró la configuración de curvas de igual elevación al nivel estático que se muestra en la Figura II.13, en ella se aprecia que la salida hacia el acuífero de San Juan del Río ha desaparecido.

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

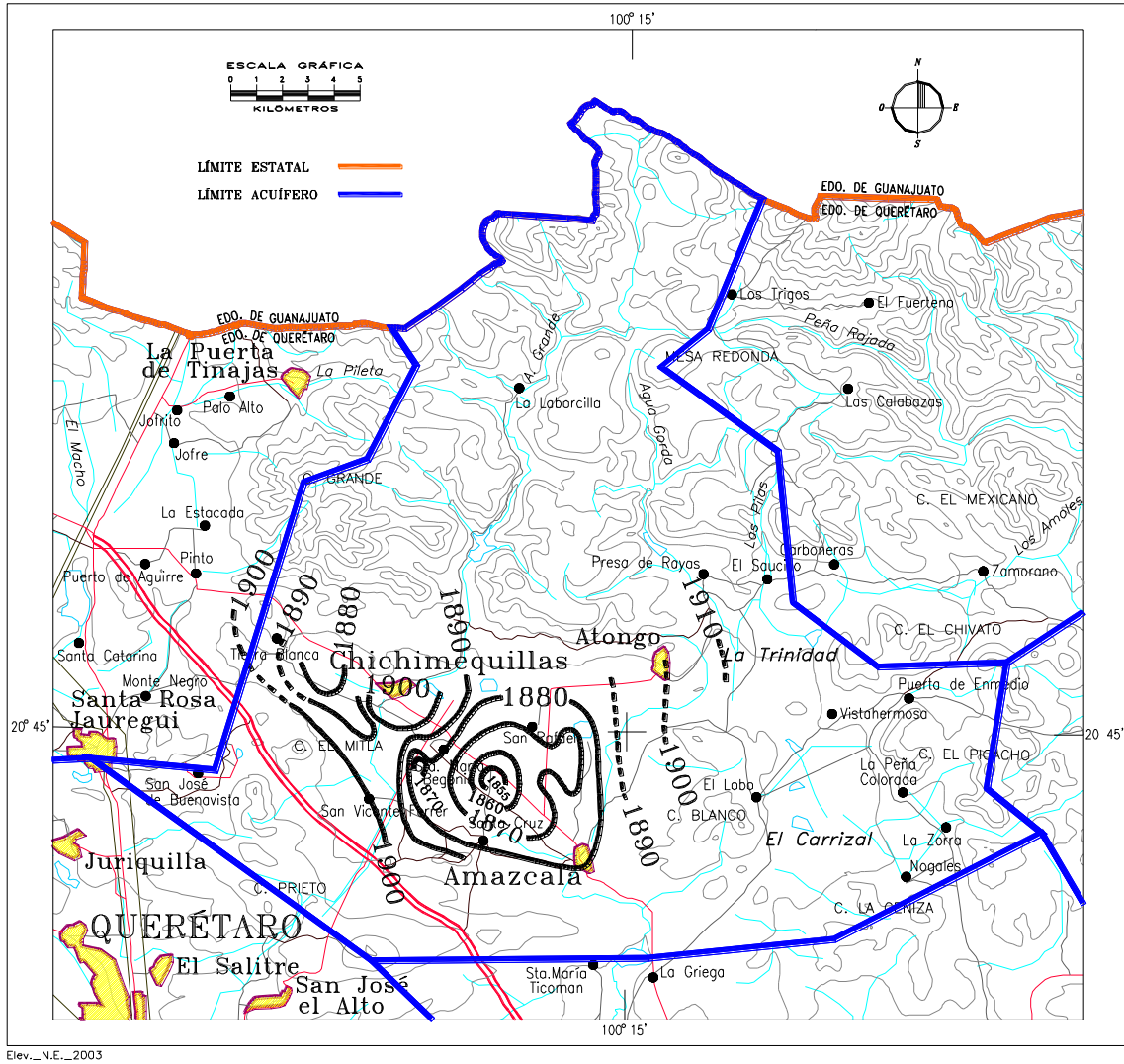


Figura No. II.13 Curvas de igual elevación al nivel estático 2003

Profundidad del nivel estático

Las profundidades del nivel estático varían entre 40 y 100 m, las máximas profundidades en Tierra Blanca, mientras que en los alrededores del poblado de Amazcala son del orden de 40 a 60 m. La Figura II.14 muestra las curvas de igual profundidad al nivel estático en el año de 1993.

De igual manera con los datos de 2003 se elaboró la Figura II.15 en la cual se puede observar que las profundidades de los niveles estáticos oscilan entre 45 y 115 metros.

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

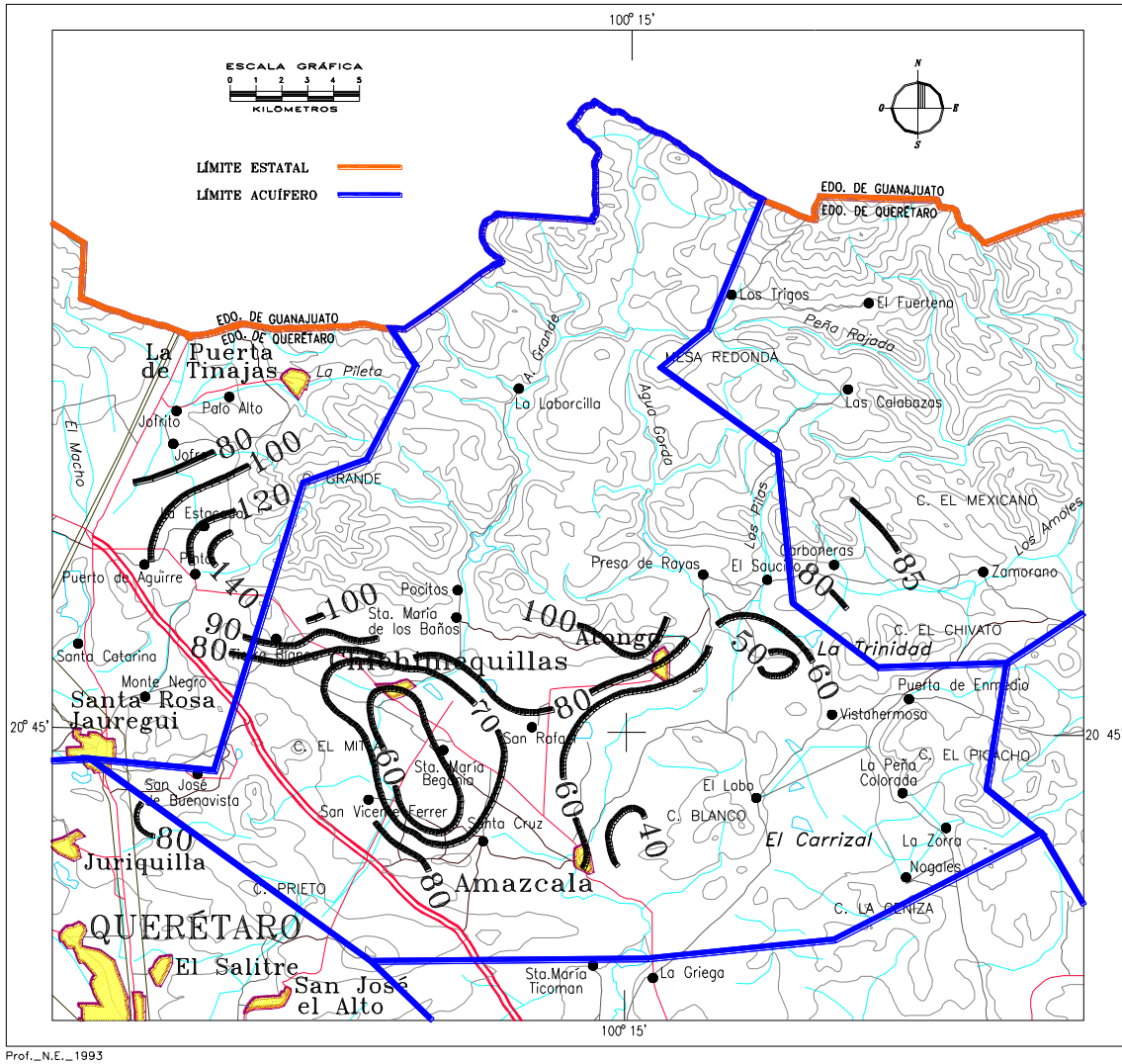


Figura No. II.14 Curvas de igual profundidad al nivel estático 1993

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

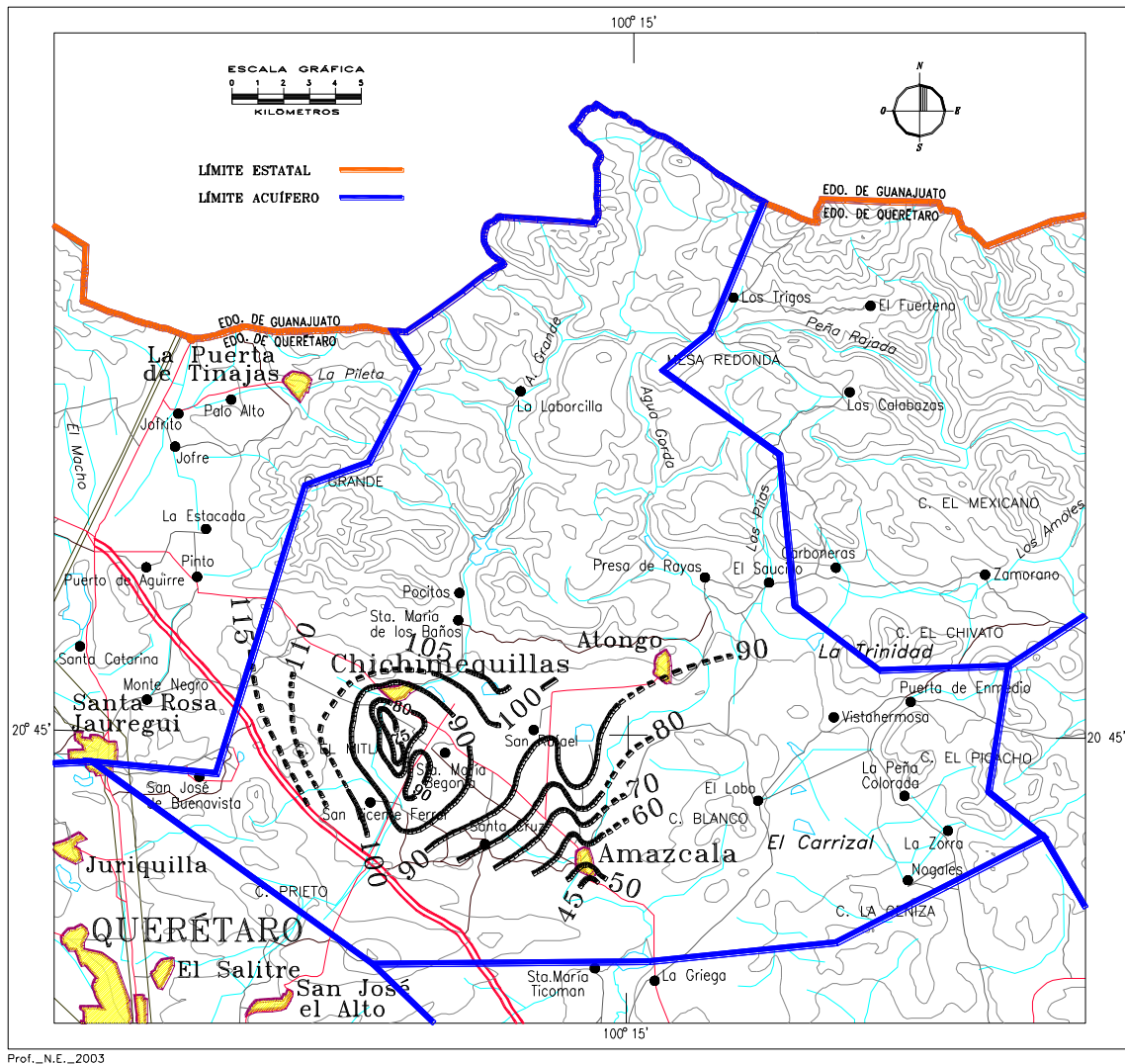


Figura No. II.15 Curvas de igual profundidad al nivel estático 2003

Evolución de los niveles estáticos

En la Figura II.16 se muestra la evolución de los niveles estáticos 1971-1990 ⁽²³⁾ donde se observa una máxima del orden de -40.0 m y una mínima de -20 m, de acuerdo a esta figura la evolución máxima anual en ese período fue de del orden de -2.0 m, con promedio de 1.5 m/año.

²³ Estudio Prioritario del Estado de Querétaro, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Administración del Agua, 1991

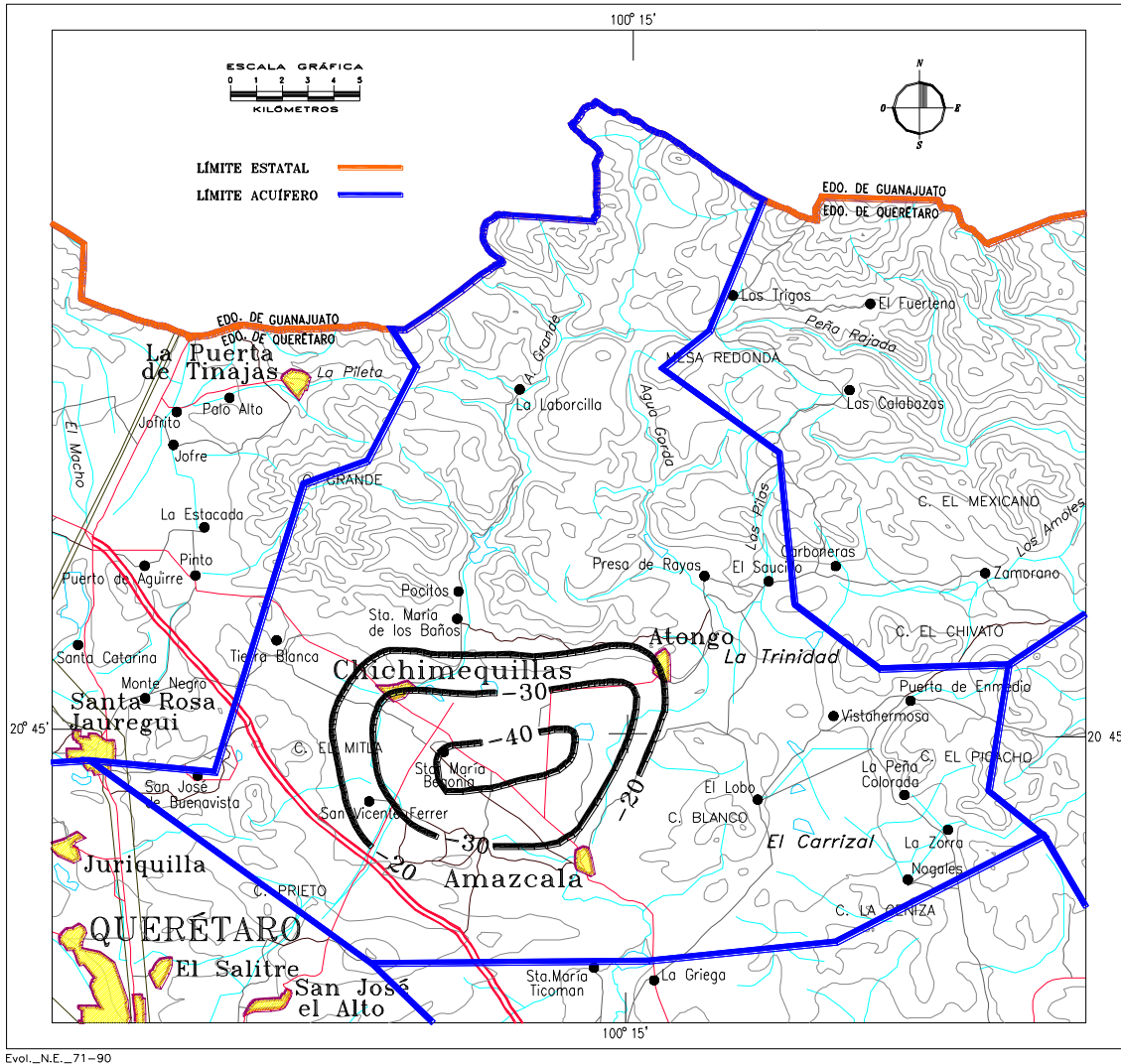


Figura No. II.16 Curvas de igual evolución al nivel estático 1971-1990

La Figura II.17 muestra las curvas de igual evolución al nivel estático 1993-2003, donde se aprecia que existen abatimientos debidos a la sobreexplotación del acuífero, del orden de 10.0 a 25.0 m, este último valor representa una evolución máxima de aproximadamente -2.5 m/año; el abatimiento promedio de la zona se estima en 17.0 m para este periodo (-1.7 m/año).

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.

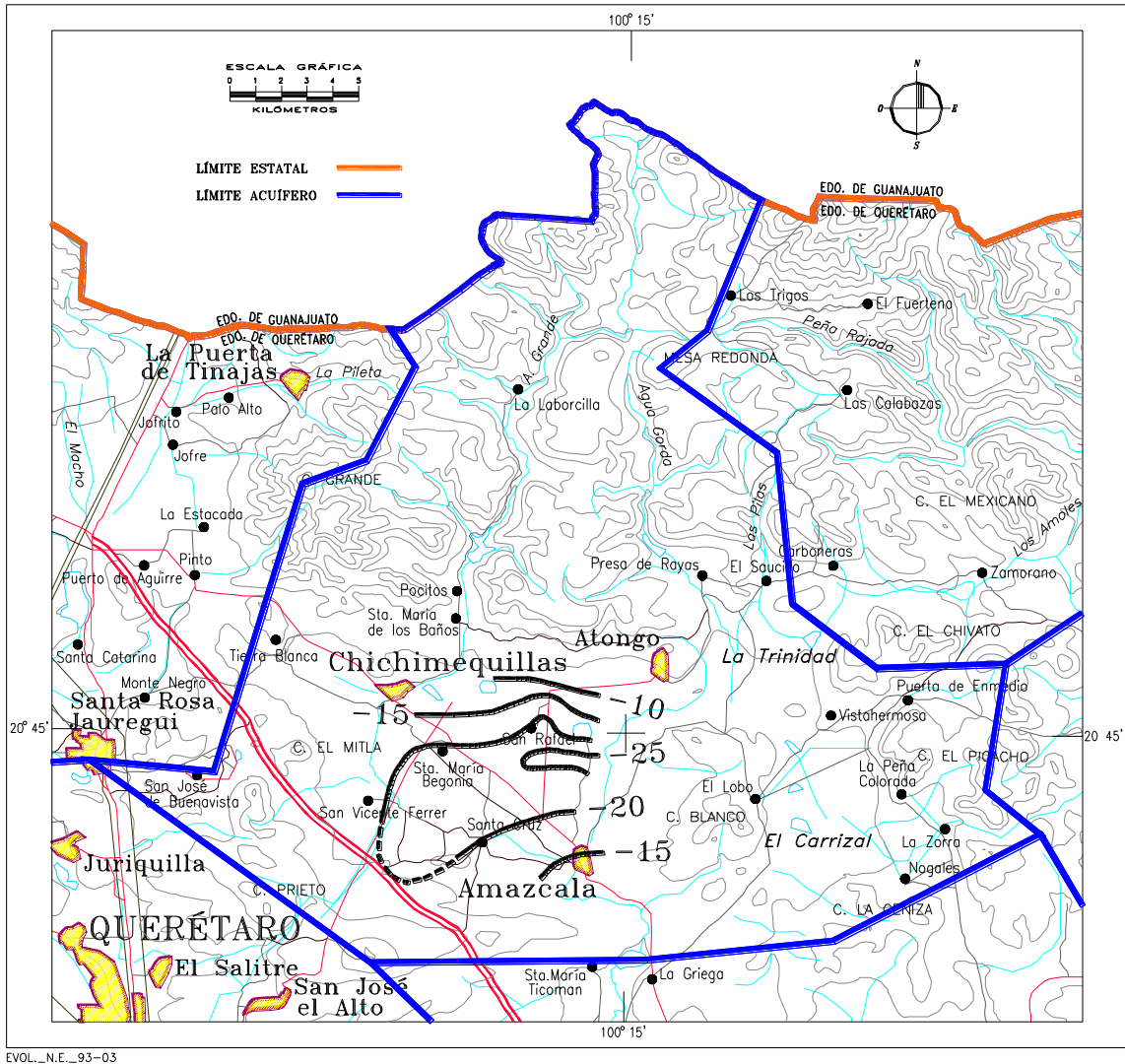


Figura No. II.17 Curvas de igual evolución al nivel estático 1993-2003

II.5.3 Geología

La geología del Valle de Amazcala se compone de rocas que datan del Jurásico hasta el Reciente.

El llamado sistema Jurásico está representado por la formación “Las Trancas” que aflora fuera del área de estudio en la parte norponiente hacia los límites de los estados de Guanajuato y Querétaro, en la localidad El Saucito, y se trata de rocas metamórficas como filitas.

Le sigue el sistema Cretácico, representado por la formación “Soyatal”; de acuerdo a una sección observada sobre el arroyo El Saucito, frente al poblado de Patolito, se trata de calizas grises muy afectadas por la revolución Laramide y la fase volcánica subsecuente; esta unidad

se encuentra aflorando también fuera del área de estudio en las vecindades del poblado de Buenavista.

Prosiguiendo con la descripción de las rocas, de la más antigua a la más reciente, sigue el sistema Terciario, da inicio a la fase volcánica con una serie de movimientos tectónicos que originan fracturas y fisuras. Este sistema Terciario está compuesto por andesitas fracturadas, como el volcán Zamorano, junto con las andesitas Buenavista que se localizan en la parte NW de la zona formando las laderas periféricas del valle de Buenavista, y que hacia el poniente forman las sierras de mayor altura, por las que atraviesa la línea imaginaria del parteaguas superficial, misma que coincide sensiblemente con el límite estatal del Estado de Guanajuato.

Dentro del contexto volcánico la roca más antigua en este sistema corresponde a la roca denominada andesita Arroyo Hondo cuyo foco de emisión principal es el estratovolcán Zamorano, el cual morfológicamente representa un macizo rocoso con una elevación del orden de 3,400 msnm el más alto de la zona; en la parte superior del volcán se encuentra la caldera que dio origen a las rocas ignimbríticas y dacítas.

Los materiales piroclásticos ignimbríticos derivados del volcán Zamorano cubren ampliamente el área de estudio, es importante mencionar que en forma regional existen otras ignimbríticas que corresponden a otro foco de vulcanismo que se presentan en la parte norte del valle de Buenavista, asimismo en la parte norte de Atongo se aprecia una ignimbrítica diferente a la secuencia del Zamorano correspondientes a las ignimbríticas de la Sierra En-Medio.

En general dentro de este sistema Terciario, quedan involucradas las ignimbríticas Buenavista y Zamorano; la dacita Vistahermosa, traquiandesita que forma una topografía cóncava de poca altura; la toba de caída libre Zamorano y las lavas fracturadas de la Andesita Mesa Redonda.

Es oportuno mencionar que la Ignimbrítica Zamorano que es parte del frente de los valles de Chichimequillas y Alfajayucan se prolongan hacia el subsuelo de los valles encontrándose a distintas profundidades.

Las rocas correspondientes al Reciente son: basaltos duros, densos y masivos afectados por fracturamiento; brechas volcánicas y basaltos, las cuales son impermeables por su grado de cementación; depósitos de pie de monte y conglomerados consistentes en bancos de arena, gravas y boleas en matriz limo arenosa, permeables, y los depósitos aluviales compuestos de gravas, arenas, limos y arcillas, materiales bien graduados que conforma al valle de Chichimequillas. En la Figura II.18 se muestra la geología superficial.

Las anteriores unidades litológicas se pueden agrupar para formar 5 unidades hidrogeológicas o hidroestratigráficas, a saber:

- a) Medios granulares y rocas volcánicas fracturadas, con permeabilidades medias a altas. Unidad de relleno de fosas, localizada específicamente en la zona de San Vicente de Ferrer en el centro del Valle de Chichimequillas. Su espesor se estima mayor a los 190 m. Estos depósitos se encuentran descansando en rocas de

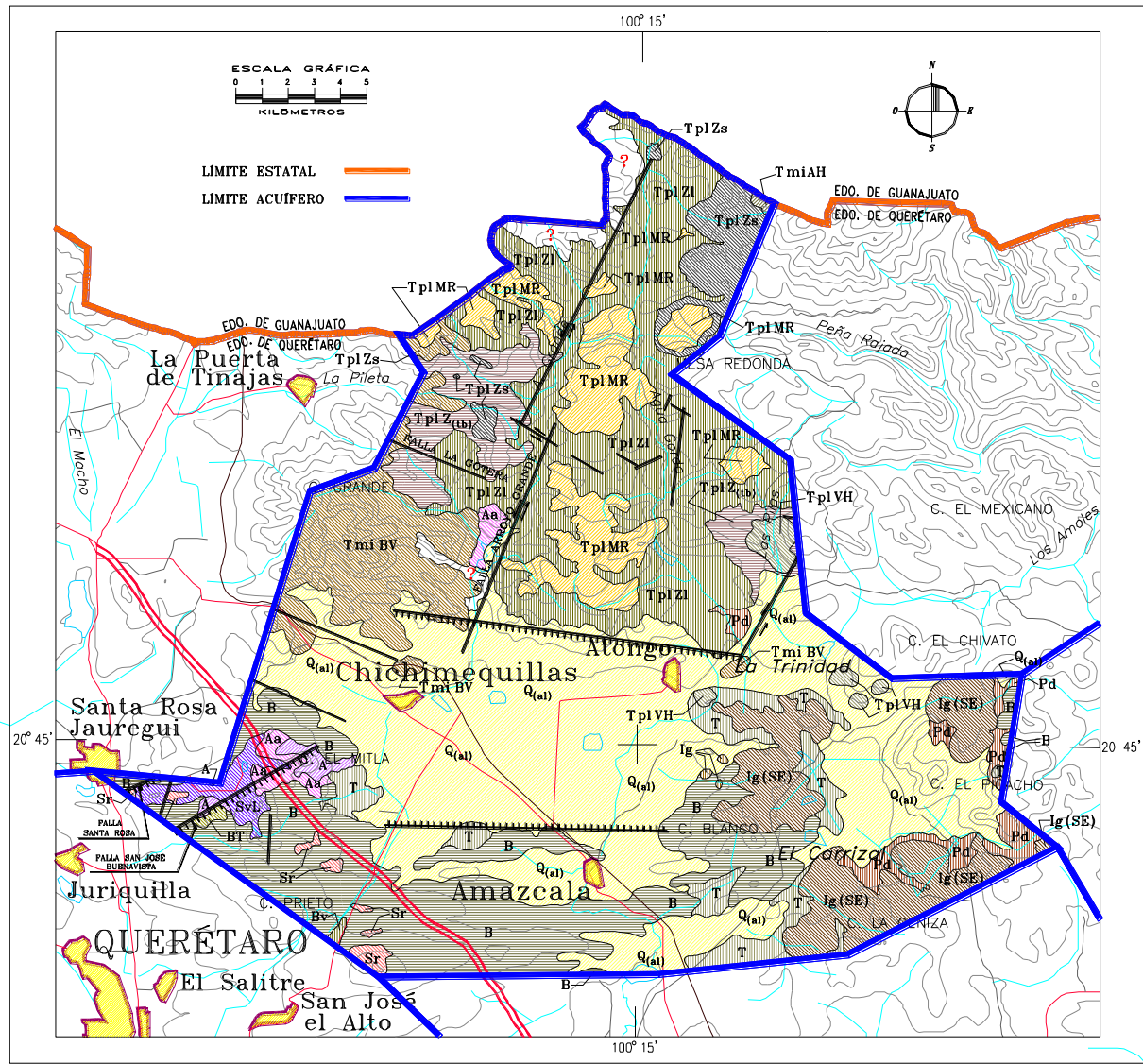
naturaleza ignimbrítica el cual funciona como basamento. Debido al contraste litológico y de permeabilidades.

- b) Medios granulares y rocas volcánicas fracturadas, con permeabilidades de baja a media. Se localiza generalmente en las zonas planas de los valles de Amazcala y Alfajayucan y forma rellenos de éstos. Su espesor es variable en promedio es superior a los 150 m sobre todo en las partes centrales de los valles. Es la zona de mayor densidad de pozos que captan agua subterránea.
- c) Zonas volcánicas en medios fracturados. Se localizan generalmente en la porción sur de la región en estudio y ocupa desniveles topográficos y abruptos y forman mesetas y aparatos volcánicos en menor proporción. En la zona de estudio se le encuentra rodeando las sierras o formando parte de ellas, ocupando poca extensión. Por información geológica se infiere que tiene un espesor máximo de 300 m y sobreyace discordantemente a las demás unidades, salvo aquellas unidades más recientes.
- d) Unidad semipermeable en áreas de recarga. Corresponden a ignimbritas Zamorano (miembro inferior), basalto lajeado, tobas limoarenosas y vitrocrystalinas en menor proporción. Unidad extensa en la zona de estudio y cuenta con los mayores volúmenes de roca. Se encuentra en la porción norte, noreste y noroeste rodeando al valle donde se emplaza el acuífero de Amazcala. Generalmente forma los frentes rocosos y mesetas de las sierras; su espesor no se determinó, corresponde a las partes donde se presentan las mayores elevaciones topográficas.
- e) Unidad impermeable. Ignimbritas Zamorano (miembro superior), andesitas alteradas, tobas vitreas, dacitas y filitas. Se encuentran en manchones de hasta 5 km². Las áreas de afloramiento son esencialmente las zonas topográficas altas, salvo afloramientos de la parte oeste de la Presa del Carmen. Los afloramientos localizados en la sierra del zamorano cubren menor extensión y descansan sobre el miembro tobáceo de la ignimbrita Zamorano. En general se encuentran rodeando al volcán del Zamorano. Esta unidad se considera como el basamento en el subsuelo y barrera impermeable en superficie. Debido a que la unidad aglutina a diversas litologías de génesis distintas el espesor promedio es de difícil estimación particularmente aquellos afloramientos que se proyectan a profundidad, pero los afloramientos superficiales se estiman en 200m.

II.5.4 Funcionamiento del sistema acuífero

De acuerdo a la geología y al comportamiento piezométrico, se puede considerar que el acuífero Valle de Amazcala funciona como acuífero libre. En términos generales el acuífero se recarga con parte de las precipitaciones pluviales que se presentan e infiltran tanto en las partes altas de la región como en los valles, por otro lado el acuífero recibe una recarga inducida por los excesos de riego y en una porción muy baja por parte de los volúmenes de agua que se fugan de los sistemas de abastecimiento de agua potable. En cuanto a su descarga natural se realiza a través de una pequeña parte de agua que sale del acuífero por flujo horizontal hacia el sur y que se ha ido reduciendo hasta prácticamente cero por motivos de la sobreexplotación que ha provocado descensos de los niveles estáticos, asimismo, debido a que en general la profundidad de los niveles estáticos son mayores a 30 m, en la región no existen salidas por evaporación ni por aportación al flujo base de las corrientes localizadas en el área del acuífero; la descarga principal e inducida es por medio del bombeo de aguas subterráneas, cuyos volúmenes se destinan a diversos usos, principalmente el agrícola.

II-Integración del plan de manejo para el acuífero Valle de Amazcala, Qro.



Geología

Qal-Depósitos aluviales

Q(pd-cg)-Depósitos de piemonte y conglomerados

Q(B-Bv)-Brechas volcánicas y basaltos

Q(B)-Basaltos

Tpl MR –Andesitas (Formación Mesa Redonda)

TplZ (tbz)-Tobas

(Formación Zamorano)

Tpl VH-Dacitas

(Formación Vista Hermosa)

Tpl Zs-Ignimbritas Zamorano (miembro superior)

Tpl Zi-Ignimbritas Zamorano (miembro inferior)

Tpl BV –Ignimbritas Buenavista

Ig SE-Ignimbritas (Sierra de En medio)

Tmi BV- Andesitas Buenavista

Tmi AH-Andesitas Arroyo Hondo

Kts –Formación Soyatal

Jtt-Formación Las Trancas

Figura No. II.18 Geología Superficial

A partir de 19 pruebas de bombeo realizadas entre 1971 y 1983 se obtuvieron valores de transmisividad comprendidos entre $63.0 \text{ m}^2/\text{día}$ y $6844 \text{ m}^2/\text{día}$, con un promedio del orden de 1200 a $950 \text{ m}^2/\text{día}$.

Posteriormente para conocer mejor los valores de los parámetros hidráulicos que se presentan en el acuífero, en el año de 1993 se efectuaron alrededor de 15 pruebas de bombeo de corta duración a gasto constante, de las cuales fue posible obtener valores de la transmisividad que oscilaban entre $1.7 \text{ m}^2/\text{día}$ hasta $7429 \text{ m}^2/\text{día}$. El valor promedio resultó de $950 \text{ m}^2/\text{día}$. Debido a que en esa fecha no se contó con pozos de observación no fue posible obtener valores del coeficiente de almacenamiento.

Recientemente se realizaron otras pruebas de bombeo, a partir de las cuales se obtuvieron valores de transmisividad del orden de $28 \text{ m}^2/\text{d}$ y $244 \text{ m}^2/\text{d}$ en dos pozos de la CEAS (No. 2092 y 2091) y en otros tres pozos ubicados en el Ejido de Chichimequillas y en el Rancho El Mesón con valores del orden de 276, 466 y $1529 \text{ m}^2/\text{d}$. El valor más alto correspondió a un pozo del Rancho El Mesón.

II.5.5 Características básicas de la disponibilidad

La disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos de esta región está más que rebasada. De hecho la reciente publicación de la CNA menciona un déficit de $44.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ en el Acuífero Valle de Amazcala ⁽²⁴⁾.

II.5.6 Sobreexplotación del agua subterránea

Generalmente la sobreexplotación del acuífero provoca una serie de efectos indeseables sobre el medio ambiente, el primero y más importante es el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos, cuya manifestación esta en los descensos de los niveles piezométricos. Un efecto inmediato a causa de dichos descensos es el incremento en los costos de extracción, debidos principalmente al incremento en los consumos de energía para mantener constante el volumen de extracción a profundidades mayores (costos variables) y de manera paralela un incremento en los costos de reposición y/o profundización de pozos y de equipos de bombeo (costos fijos).

De manera particular el acuífero Valle de Amazcala, ha sufrido un continuo descenso de los niveles piezométricos, que de acuerdo a los datos históricos reportados se ha amortiguado en los últimos años, debido principalmente al abandono de superficies agrícolas por el incremento de los costos descritos anteriormente. Sin embargo, mientras los volúmenes de extracción se mantengan por encima de los volúmenes de recarga el abatimiento de los nivel seguirá presente. En la Figura II.19 se presenta el balance de aguas subterráneas para el acuífero Valle de Amazcala, obtenido del estudio realizado por la CEA en el 2002 a través de la Universidad Autónoma de Querétaro ²⁵.

²⁴ CNA. Acuerdo. Diario Oficial 31 de enero de 2003.

²⁵ CEA. 2002. Identificación de impactos al acuífero Valle de San Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implementación del proyecto: Riego a la Demanda en el Distrito 023 San Juan del Río. Edo. de Querétaro.

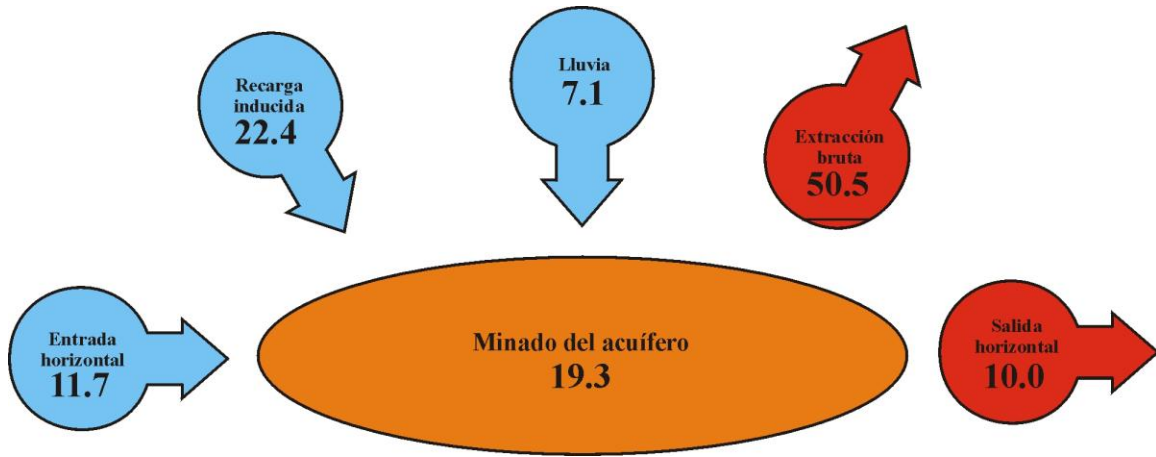


Figura No. II.19 Balance de aguas subterráneas (Balance datos 2002)

En la Figura II.20 se observa que de acuerdo a los valores disponibles y a la curva de ajuste del modelo, de diciembre de 1996 a diciembre de 1999 se nota una fuerte caída de la profundidad del nivel estático de 12.5m, es decir un promedio de más de 4m por año cambiando a menos de 1.5m por año en el periodo de 1999 a 2003. De igual forma de acuerdo a la proyección a futuro que se describe en la misma grafica, a partir de diciembre de 2004 a diciembre de 2010 el abatimiento del nivel estático tenderá a estabilizarse ya que presentará una profundidad durante dicho periodo de 2.58m aproximadamente, es decir de 0.37m en promedio por año.

Evolución histórica promedio del nivel estático Acuífero Valle de Amazcala

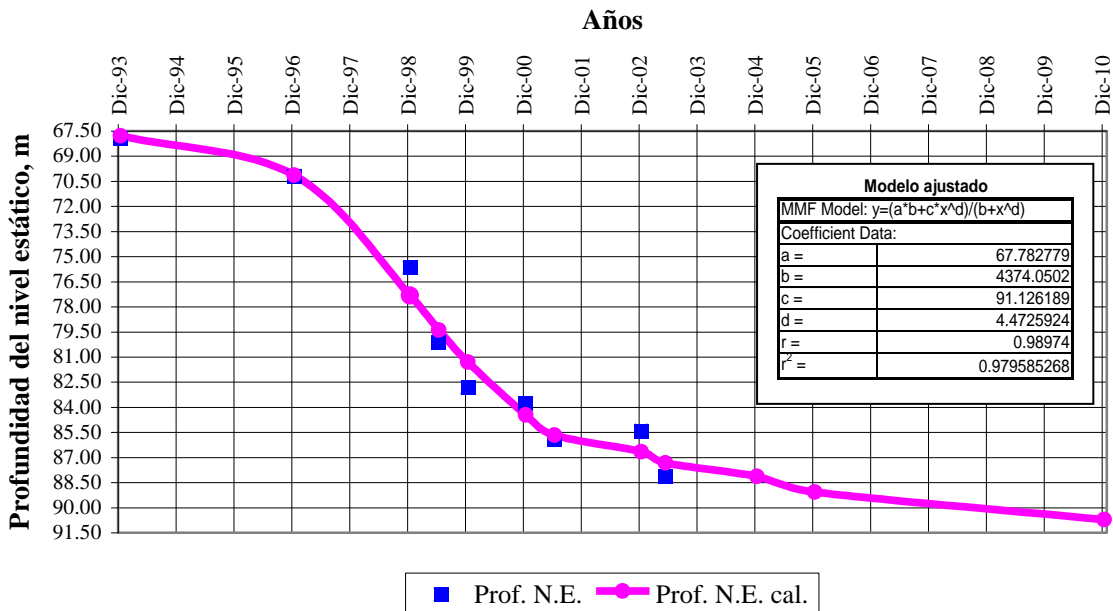


Figura No. II.20 Evolución promedio del nivel estático en el acuífero Valle de Amazcala

II.6 Agua superficial

II.6.1 Hidrografía

El acuífero del Valle de Amazcala, desde el punto de vista de la hidrología superficial, pertenece a la Región Hidrológica No. 12, Cuenca del río Lerma. La corriente superficial más importante es el río Chichimequillas, que nace en las serranías de la porción norcentral del estado, sus afluentes principales lo constituyen un sin número de arroyos del tipo intermitente; primeramente se desarrolla con un rumbo SE-NW y toca los poblados de Chichimequillas y Amazcala, pero al entrar al valle de Querétaro tuerce rumbo al E-W, donde cambia su nombre por río Querétaro, para poco después descargar al río La Laja.

Las obras más notables de la infraestructura hidráulica superficial son cuatro presas de almacenamiento, dos de éstas están ubicadas en la parte Noroeste del acuífero y son la presa “El Carmen” y la presa “San Joaquín”, con una capacidad máxima de almacenamiento de 7.39 hm³ y 0.56 hm³, respectivamente. Las otras dos presas están ubicadas en la parte Noreste y son “Los Pirules” con una capacidad máxima de almacenamiento de 2 hm³ y “El Arenal” que actualmente no tiene agua. Por lo que en conjunto se tiene una capacidad máxima potencial almacenamiento para la zona del acuífero de 9.95 hm³, del cual se desconoce el volumen perdido por azolve, sin embargo, se estima que en conjunto dichas obras han permitido regar tan solo un promedio de 150 ha; por lo que se estima que el volumen retenido y aprovechado por estas obras alcanza apenas un 10% de su capacidad máxima, es decir un hm³ por año.

En cuanto al comportamiento de los escurrimientos y corrientes superficiales no se cuenta con una estación hidrométrica sobre el río Chichimequillas que pudiera considerarse como referencia para conocer los volúmenes históricos de escurrimientos generados en la zona del acuífero. La estación hidrométrica sobre el río Querétaro aguas abajo más cercana es la de Amache, ubicada ya en el estado de Guanajuato, con un periodo de registro de 1980 a 1994, sin embargo en este punto el río ya ha sido influenciado por la zona urbana de Querétaro, lo que distorsiona de manera importante el comportamiento del mismo, por lo que es difícil considerarla como referencia del Valle de Amazcala, sin embargo, como único elemento de análisis se asumió la siguiente consideración. En función de los datos reportados por la estación hidrométrica de Amache²⁶, se registra un volumen medio anual de 20 hm³, considerando, de manera proporcional a la población del Valle de Querétaro y la del Valle de Amazcala, que tan solo el 10% proviene del este último, se tiene un volumen escurrido al salir del Valle de aproximadamente 2 hm³.

II.6.2 Calidad de Agua Superficial

No se cuenta con información estadística que permita estimar la calidad y evolución de la misma dentro del área de estudio. Sin embargo en general se considera de buena calidad por provenir en su mayoría de escurrimientos nacientes en la zona, sin embargo no se tienen tampoco datos que evidencien el control de descargas de aguas residuales a las corrientes, lo que contribuye al deterioro dicha calidad.

²⁶ SIAS. Sistema de Información de Aguas Superficiales. IMTA. 1998

II.6.3 Características básicas de la disponibilidad y uso del agua superficial

De las cuatro presas mencionadas anteriormente se destaca que podrían regar hasta unas 400 ha a capacidad máxima; sin embargo, el volumen almacenado en los últimos años ha permitido regar solamente en promedio 190 ha aproximadamente; por lo que se estima que en promedio se utiliza un hm^3 . En cuanto a escurrimientos superficiales, estos son en su mayoría intermitentes, además de encontrarse muy fraccionados y dispersos en las zonas altas del Valle de Amazcala, excepto en la parte baja donde se concentran en el Río Chichimequillas, por lo que en general no se consideran disponibles para uso agrícola, público urbano o industrial. Aunque por opiniones de los lugareños se estima un sobrante que drena hacia el río Querétaro de unos $2 \text{ hm}^3/\text{año}$, adicionales a los que actualmente están en uso.

No se conoce la cantidad de azolve que han entrado a las presas, ni su estado de conservación, ni la forma de operación de las mismas.

Se sabe de la investigación sobre otros proyectos, como el de la presa Picacho, aunque con propósito de abastecimiento a la ciudad de Querétaro, el volumen aprovechable solo sería de unos $7 \text{ hm}^3/\text{año}$.⁽²⁷⁾

II.7 Agua residual

No se cuenta con información que permita cuantificar los volúmenes de agua residual dentro del área de estudio. Sin embargo, se estima que cerca del 50 % del volumen de agua destinado al uso público urbano, se convierte en agua residual. Este volumen es de aproximadamente 0.5 hm^3 por año.

II.7.1 Calidad del agua residual

No se cuentan con estudios de calidad de agua residual. Sin embargo no se tienen registros de plantas de tratamiento, por lo que el agua residual, producto de las descargas público-urbanas debe ser de baja calidad.

II.7.2 Características básicas de la disponibilidad y uso del agua residual.

No se cuenta con información básica para determinar la disponibilidad de agua residual. Sin embargo, siguiendo las consideraciones mencionadas anteriormente, se produce aproximadamente 0.5 hm^3 por año de aguas residuales, sin embargo su disponibilidad se ve limitada debido a lo disperso de las poblaciones dentro del Valle de Amazcala. En términos generales no se cuenta con evidencias o testimonios que indique algún uso para esta agua, por lo que en su mayoría salen del Valle como escurrimientos superficiales.

²⁷ CNA. Gerencia Estatal en Querétaro. Proyecto presa El Picacho. Municipios del Marqués. 2003

CAPÍTULO III ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE EXTRACCIÓN

III.1 REPDA

Conforme al análisis realizado en el Capítulo II Cuadro II.10, el REPDA asignó un volumen total al acuífero Valle de Amazcala de 37.57 hm³/año, donde los usos principales son el agrícola con 72.01%, el uso potable con 17.35% y el abrevadero con 10.64%. Los usos industrial, doméstico y pecuario en el REPDA original se reportan con valores de 0.46 hm³, 0.01 hm³ y 1.44 hm³ respectivamente.

III.2 Uso Agrícola

III.2.1 La agricultura de riego en el estado de Querétaro y el uso del agua de pozo

Durante el período de 1980 a 2002, en el estado de Querétaro, se han sembrado en promedio 180,000 hectáreas por año, que representa casi un 15% del área total del estado, de las cuales se han cosechado, también en promedio 130,000 hectáreas, es decir 73%⁽¹⁾.

De la superficie cosechada el 42% es de riego y el 58% es de temporal. En este mismo período se calculó el valor de la producción a precios deflactados con el índice implícito del PIB del sector primario⁽²⁾, resultando con un promedio anual de 323 millones de pesos del año base 1993, de los cuales el 78% corresponden a la cosecha de riego y un 22% a la de temporal.

Las superficies cosechadas de riego y temporal han tenido una tendencia a la baja del orden de 0.75% y 0.22% anual respectivamente en el período analizado. Como se muestra en la Figura III.1 la variabilidad en la superficie cosechada de temporal ha sido considerablemente mayor a la de riego.

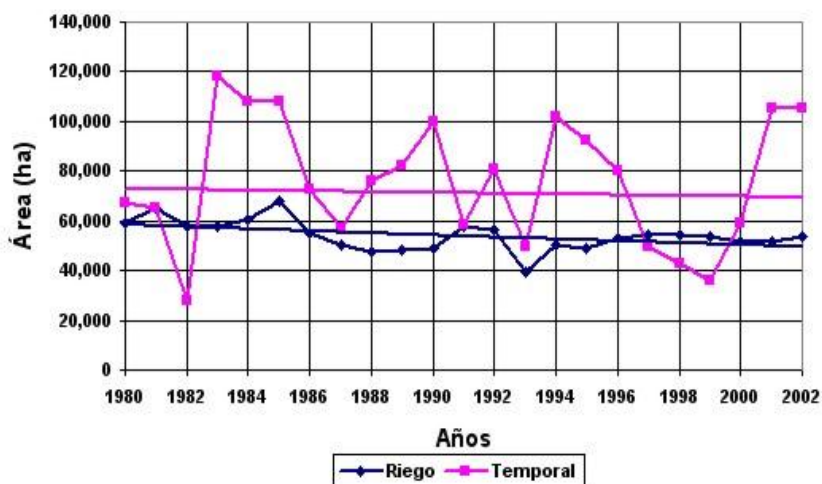


Figura No. III.1 Superficies cosechadas de riego y temporal en el estado de Querétaro

¹ Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON), SAGARPA.

² www.inegi.gob.mx

Respecto al valor de la producción, se observa también una tendencia a la baja, con una tasa anual de 0.37% para la agricultura de riego y de 4% para la de temporal. Sin embargo, en la Figura III.2 se observa una notable recuperación en los últimos años, tanto en la agricultura de temporal como en la de riego.

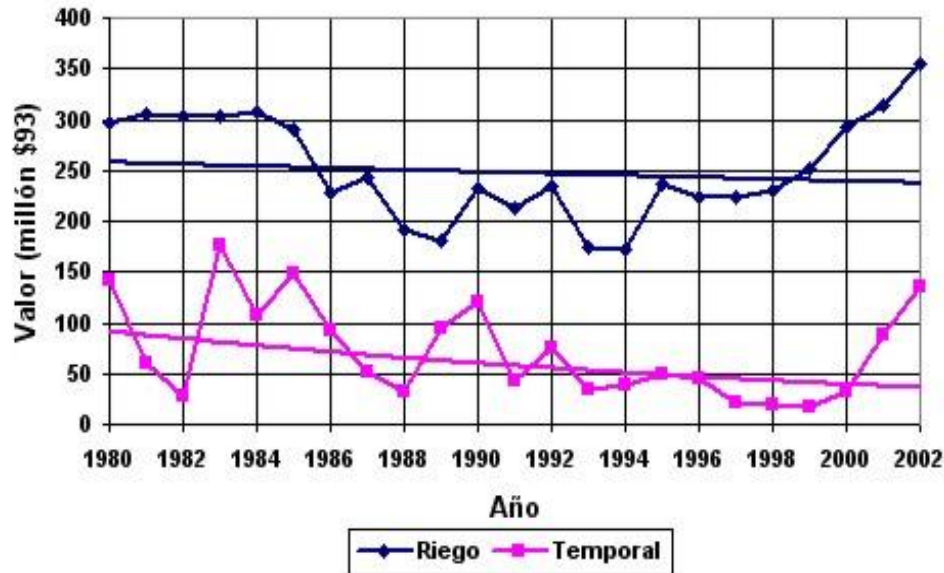


Figura No. III.2 Variación del valor de las cosechas en el estado de Querétaro

De la superficie de riego, una parte tiene como fuente de abastecimiento agua de pozos profundos y otra parte de fuentes superficiales. De esta ultima solo se dispone de la información generada en el distrito de riego 023, pero se desconoce cuanto se riega con presas, bordos, plantas de bombeo y manantiales.

La Comisión Nacional del Agua, tiene registradas en el estado de Querétaro 76 presas con capacidades mayores de 500 mil metros cúbicos, cuya capacidad total es de 314 hm³, de las cuales, cuatro de las mayores corresponden al distrito de riego, con una capacidad de 152.50 hm³, aproximadamente la mitad del volumen que se puede almacenar.

Por otra parte, en el distrito de riego 023 se tiene información sobre el volumen de agua de las presas que se ha usado para riego en el período de 1988 hasta el 2002, que en promedio ha sido de unos 37 millones de metros cúbicos, representando un 49% del volumen total usado para riego, lo cual apenas representa un 26% de la capacidad de almacenamiento de sus presas, principalmente la de San Idelfonso y la Constitución de 1917. No obstante, suponiendo que de las otras presas que reporta la CNA, han tenido un aprovechamiento similar, se ha estimado el área regada con aguas superficiales, la cual se ha restado del área total regada en el estado, esta diferencia se considero que es la superficie regada con agua de pozos.

Para el estado de Querétaro, el REPDA, reporta que en promedio los pozos para uso agrícola tienen una descarga media de 40 lps, además se tiene información de que se está bombeando con una carga dinámica total de 95 metros. Bajo el supuesto de una eficiencia electromecánica media de 0.44, se estima que su producción promedio de agua por KWH es

de 1.70 m³, y como se dispone de la información del consumo eléctrico en tarifa 09 de la Comisión Federal de Electricidad, fue posible estimar el volumen extraído mediante el bombeo de pozos profundos, considerando que el 85% del consumo reportado es de alta tensión, y el 15% restante es de baja tensión o para presurizar sistemas de riego (En 2002 el consumo de energía para el sector fue de 234,331 MWH x 0.85 x 1.70 m³/KWH/1000 = 338.61 hm³ en ese año).

Los volúmenes estimados para el riego, tanto con aguas superficiales como con agua de los pozos, de acuerdo a lo que se ha indicado, así como las respectivas superficies regadas, se muestran en el Cuadro III.1. Es decir, el consumo eléctrico anotado representa el 0.85 del reportado para todo el estado por CFE.

Cuadro No. III.1 Volúmenes y áreas regadas con aguas superficiales y del subsuelo en el estado de Querétaro ⁽³⁾.

| Año | Área Regada (ha) | Consumo Eléctrico ⁽⁴⁾ (MWH) | Volumen de Pozos (hm ³) | Volumen Superficial (hm ³) | Área Regada Superficialmente (ha) | Área Regada por Pozo (ha) | Lámina Superficial (dcm) | Lámina Pozo (dcm) |
|---------------|------------------|--|-------------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1988 | 47,825 | 202,036 | 343.46 | 30.98 | 3,517 | 44,308 | 8.81 | 7.75 |
| 1989 | 48,589 | 223,958 | 380.73 | 114.98 | 14,800 | 33,789 | 7.77 | 11.27 |
| 1990 | 48,946 | 194,628 | 330.87 | 59.65 | 8,532 | 40,414 | 6.99 | 8.19 |
| 1991 | 57,564 | 194,998 | 331.50 | 119.78 | 13,992 | 43,572 | 8.56 | 7.61 |
| 1992 | 56,485 | 180,503 | 306.86 | 93.85 | 13,078 | 43,407 | 7.18 | 7.07 |
| 1993 | 39,507 | 160,285 | 272.49 | 98.27 | 11,826 | 27,681 | 8.31 | 9.84 |
| 1994 | 50,569 | 189,222 | 321.68 | 83.27 | 12,849 | 37,720 | 6.48 | 8.53 |
| 1995 | 49,014 | 165,492 | 281.34 | 76.68 | 10,830 | 38,184 | 7.08 | 7.37 |
| 1996 | 53,138 | 196,415 | 333.91 | 100.17 | 10,240 | 42,898 | 9.78 | 7.78 |
| 1997 | 54,597 | 215,116 | 365.70 | 83.68 | 9,914 | 44,683 | 8.44 | 8.18 |
| 1998 | 54,116 | 206,305 | 350.72 | 26.74 | 2,663 | 51,453 | 10.04 | 6.82 |
| 1999 | 53,634 | 211,228 | 359.09 | 136.68 | 13,724 | 39,910 | 9.96 | 9 |
| 2000 | 51,321 | 225,783 | 383.83 | 76.61 | 10,007 | 41,314 | 7.66 | 9.29 |
| 2001 | 51,659 | 197,749 | 336.17 | 56.47 | 7,245 | 44,414 | 7.79 | 7.57 |
| 2002 | 53,482 | 199,181 | 338.61 | 74.75 | 8,552 | 44,930 | 8.74 | 7.54 |
| Medias | 51,363 | 197,527 | 335.80 | 82.17 | 10,118 | 41,245 | 8.24 | 8.25 |

En el cuadro anterior se observa que las láminas de riego para el uso de aguas superficiales como para bombeo, son del mismo orden, aunque en algunos años tienen diferencias que pueden deberse a errores en la estimación o a diferencias en patrones de cultivo.

De esta forma, la graficar las áreas regadas con aguas de pozo y los volúmenes de agua de pozo utilizada para el riego, con respecto al tiempo, obtenidos mediante el consumo eléctrico reportado por la CFE, se observa una ligera tendencia ascendente de 1% y 0.44% anual, respectivamente. La gráfica se muestra en la Figura III.3.

³ Fuente de información sobre uso del agua de gravedad en Distritos de Riego. CNA.

⁴ cfe.gob.mx

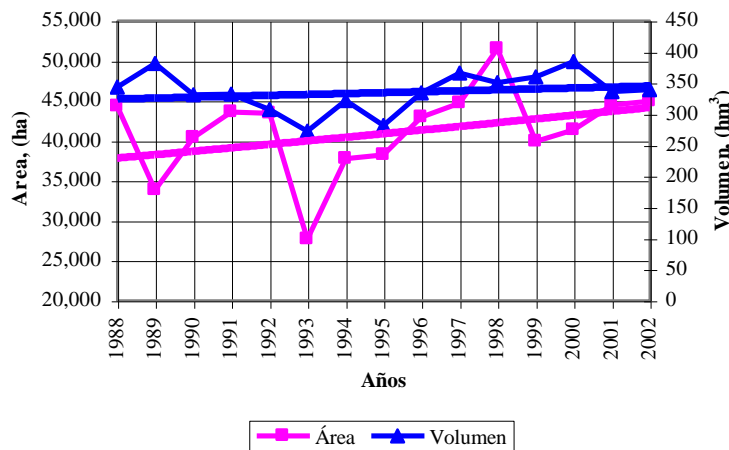


Figura No. III.3 Variación de volúmenes bombeados de pozos en el estado de Querétaro

En las variaciones en las áreas regadas, se nota una tendencia al aumento, pero por otra parte el volumen usado para su riego tiene un incremento menor, esto parece indicar que ha mejorado la eficiencia en el uso del agua, lo cual se puede deber al uso de sistemas de riego tecnificados, adquiridos con los apoyos al campo. En efecto las láminas de riego con el uso del agua de bombeo, tienen una tendencia a la baja de 0.7% anual en el período considerado en el Cuadro III.1, mientras que las láminas de riego con agua superficial muestran una tendencia a la alta del orden del 0.9% anual.

III.2.2 La agricultura de riego en el municipio El Marqués y el uso del agua de pozo

En el municipio de “El Marqués”, entre el período de 1997 a 2003, se han sembrado bajo riego en promedio 7,242 hectáreas por año, cabe mencionar que dicha superficie sembrada ha tenido una acelerada disminución año tras año, pasando de 7,813 ha en el año de 1997 a 5,879 ha en el 2003, ver Cuadro III.2.

Cuadro No. III.2 Volúmenes y áreas regadas con aguas subterráneas en el municipio de El Marqués⁽⁵⁾

| Año | Área (ha) | | | | Volumen Hm ³ |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| | O-I | Perennes | P-V | Total | |
| 1997 | 1205 | 1895 | 4713 | 7813 | 71.56 |
| 1998 | 1384 | 1843 | 4916 | 8143 | 73.25 |
| 1999 | 1091 | 1971 | 4465 | 7527 | 70.55 |
| 2000 | 1246 | 2005 | 4343 | 7594 | 71.68 |
| 2001 | 1097 | 2019 | 3668 | 6784 | 66.76 |
| 2002 | 1142 | 2110 | 3705 | 6957 | 68.98 |
| 2003 | 958 | 2055 | 2,866 | 5,879 | 61.56 |
| Media | 1160 | 1985 | 4097 | 7242 | 69.19 |

⁵ Fuente Distrito de Desarrollo Rural, Delegación SAGARPA en Querétaro.

Aún cuando algunos cultivos perennes como la alfalfa ha tenido un ligero incremento en su superficie, los cultivos de primavera-verano han disminuido a una tasa anual de aproximadamente 8%. De manera general, la superficie regada en total para todos los cultivos este período disminuyó a una tasa media anual de 4.5%, en consecuencia, también los volúmenes utilizados para el riego han disminuido, como se observa en la Figura III.4 y en el Cuadro III.2.

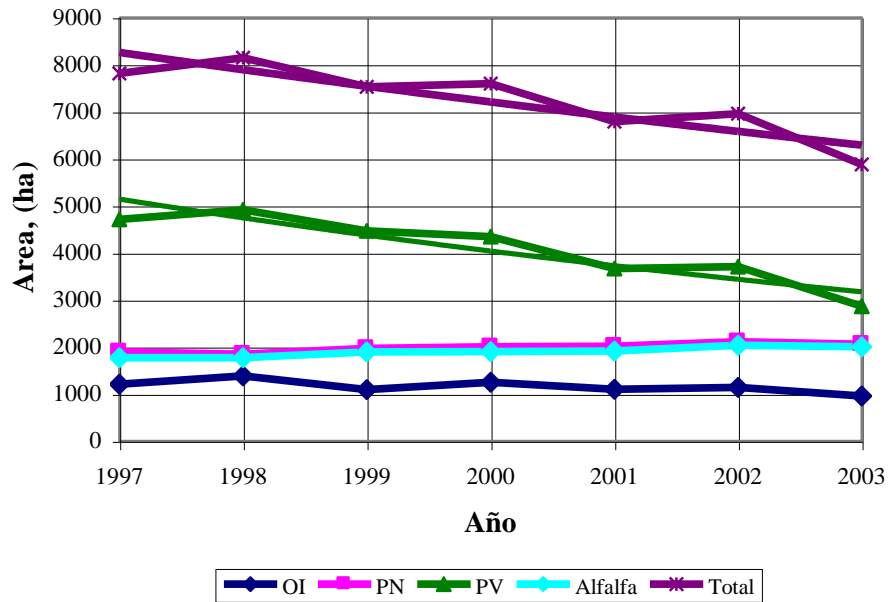


Figura No. III.4 Superficies regadas en el Municipio de “El Marqués”, Querétaro

En el municipio de “El Marques”, se ubica una buena parte del acuífero Valle de Amazcala, como se observa en la Figura III.5; en forma aproximada, se puede suponer que dentro del acuífero se riega el 50 % de la superficie reportada para dicho municipio.

Tomando en consideración lo anterior, es decir, que la superficie regada en el acuífero Valle de Amazcala corresponde a casi la mitad dentro del municipio “El Marqués”, es evidente que también en esta región la superficie regada ha disminuido en forma similar al mostrado en todo el municipio de “El Marqués”.

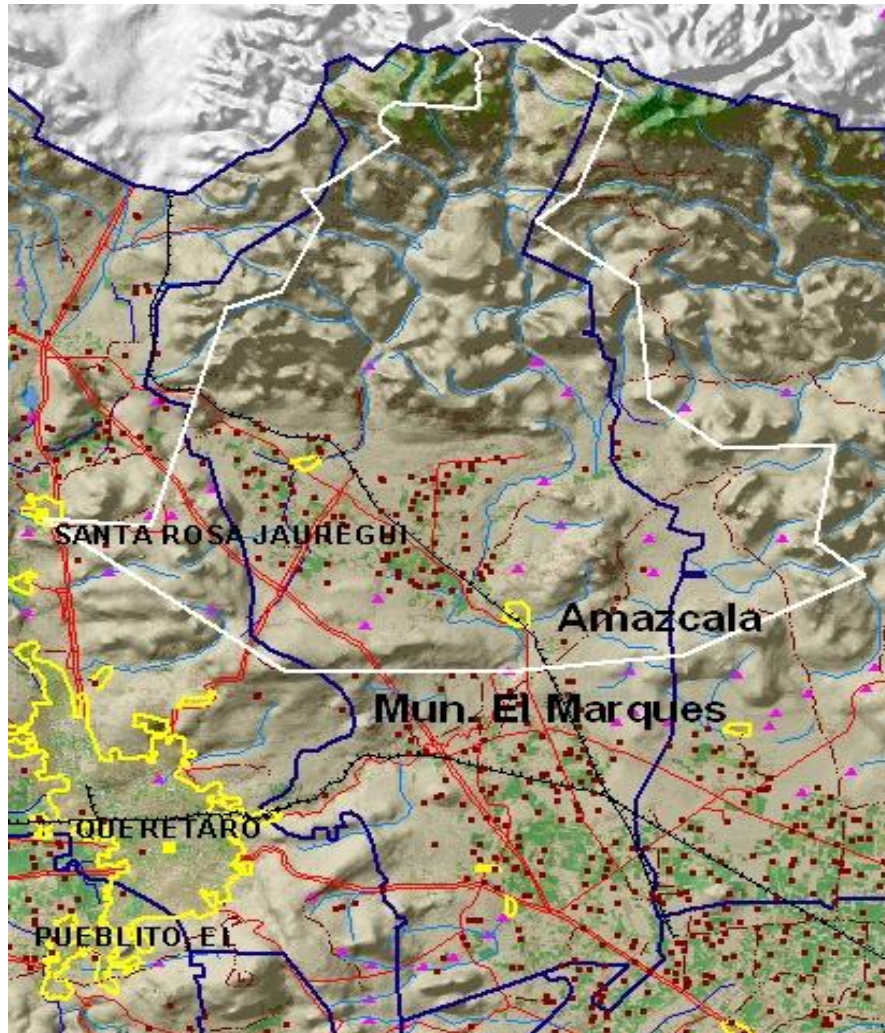


Figura No. III.5 Acuífero de Amazcala (en blanco) y municipio “El Marqués” (azul)

III.2.3 La agricultura de riego en el Acuífero Valle de Amazcala y el uso del agua de pozo

Para localizar y estimar las superficies cultivadas en el Valle de Amazcala en los ciclos de primavera-verano de 2002 y otoño-invierno de 2003, se utilizaron imágenes del satélite Landsat 7, de junio del 2002 y de marzo del 2003.

La localización de las zonas cultivadas se hizo por medio de la construcción de imágenes en falso color con las bandas 3, 4 y 7, dichas superficies destacan en un verde claro, como se muestra en la Figura III.6, y el área cultivada se definió haciendo una máscara con el software IDRISI®, delimitada por el perímetro del acuífero y por la curva de nivel 2100 metros sobre el nivel del mar, que limita la zona plana del valle de Amazcala.

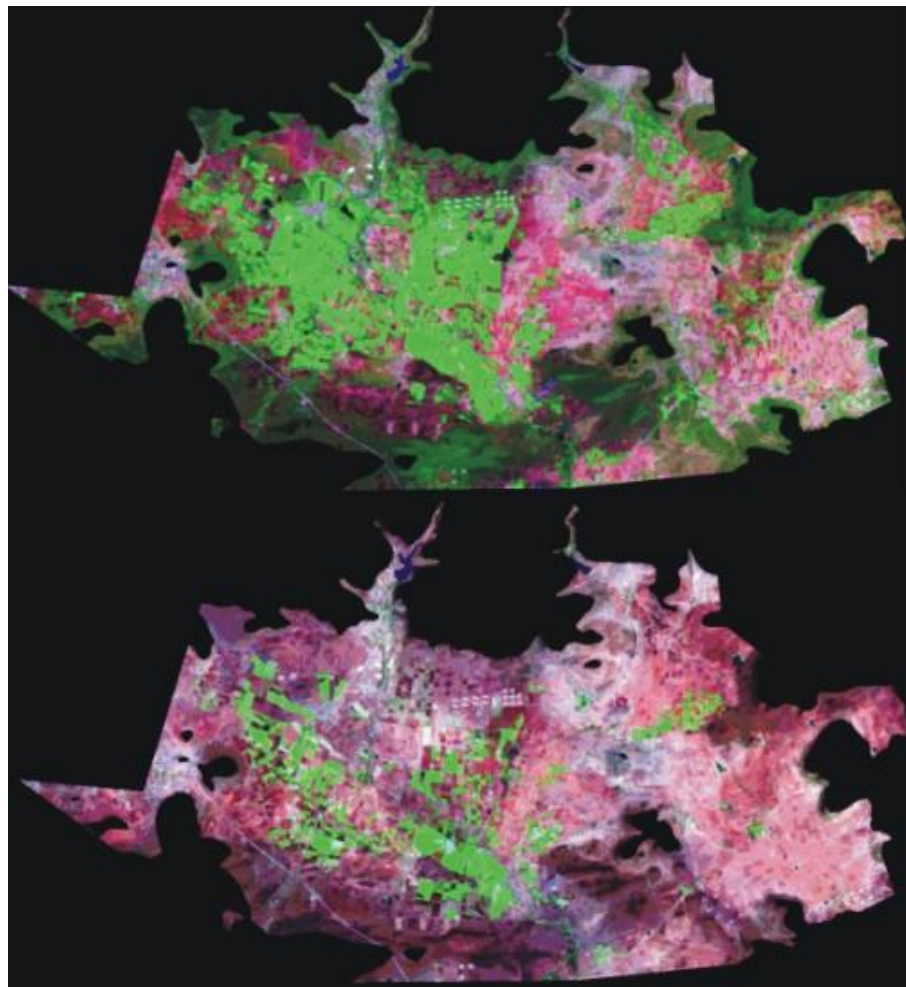


Figura No. III.6 Área cultivada en el ciclo primavera-verano de 2002 y otoño-invierno de 2003 en el Valle de Amazcala

Para el ciclo de primavera-verano del 2002, de acuerdo a la estadística agrícola, en el Municipio de El Marqués, se cultivaron 5,815 hectáreas bajo riego y 12,020 hectáreas de temporal, principalmente de frijol, maíz y sorgo para grano. Utilizando las bandas roja e infrarroja cercana, se calculó el índice de diferencias normalizadas y para la zona que se muestra en la parte superior de la Figura III.6, se estimó un área con cultivo de 7,050 hectáreas, equivalente a un 40% del área total cultivada en el municipio, lo cual es bastante congruente con la estadística analizada.

Para poder definir esta superficie regada de 7,050 hectáreas, se recurrió al uso del índice de estrés de humedad propuesto por Rock *et. al.* (1986)⁶, que es la relación entre las bandas 5 y 4 del Landsat 7. Se considera que este índice es menor que la unidad cuando hay suficiente agua en el follaje y el valor obtenido para la superficie que llena este requisito en el ciclo primavera-verano de 2002 en el Valle, fue de solo 2,564 hectáreas, equivalente al 44% de la superficie regada en el municipio de El Marqués.

⁶ Rock, B. N., J. E. Vogelmann, D. L. Williams, A. F. Voglemann and T. Hoshizaki. 1986, "Remote detection of forest damage", *Bio Science*, 36:439 pp.

Para el caso de otoño-invierno del 2003, fue muy fácil estimar la superficie regada, debido a que no hay temporal; así, utilizando el índice de diferencias normalizadas, se calculó un área regada en el valle de 1,336 hectáreas, que se distinguen fácilmente en la parte superior de la Figura III.6. La estadística indica que en el municipio había bajo riego 3,013 hectáreas, por lo que el área estimada para el valle de Amazcala es el 44% del área del municipio de El marqués.

Es indiscutible que en esta región la superficie regada ha disminuido en forma similar al municipio de “El Marques”, por lo que a continuación se hace una estimación de la variación de los volúmenes bombeados en dicho acuífero.

En la región del acuífero del Valle de Amazcala, además de los pozos profundos, hay presas de almacenamiento, tal como se menciona en el punto II.6.1 del Capítulo II, dos de éstas son muy importantes para el riego por gravedad, dichas presas son “El Carmen” y “Los Pirules”, las que podrían llegar a regar hasta unas 400 ha a capacidad máxima; sin embargo, el volumen almacenado en los últimos años ha permitido regar solamente en promedio 190 ha; por lo que se estima que en promedio utilizan 1 hm³.

Considerando que el volumen varía en forma similar al usado en el Distrito de Riego 023, se ha hecho un ajuste al volumen utilizado para el riego de los cultivos en esta región, disminuyendo el volumen que corresponde al que se ha utilizado de las presas, bajo el supuesto de que dicho volumen ha sido proporcional al volumen de gravedad usado en el distrito de riego, para obtener el volumen bombeado del acuífero. Así, en la Figura III.7 se muestra la tendencia del área y el volumen bombeado del acuífero, éstos disminuyen a una tasa de 4.4% y 2.3% anual, respectivamente.

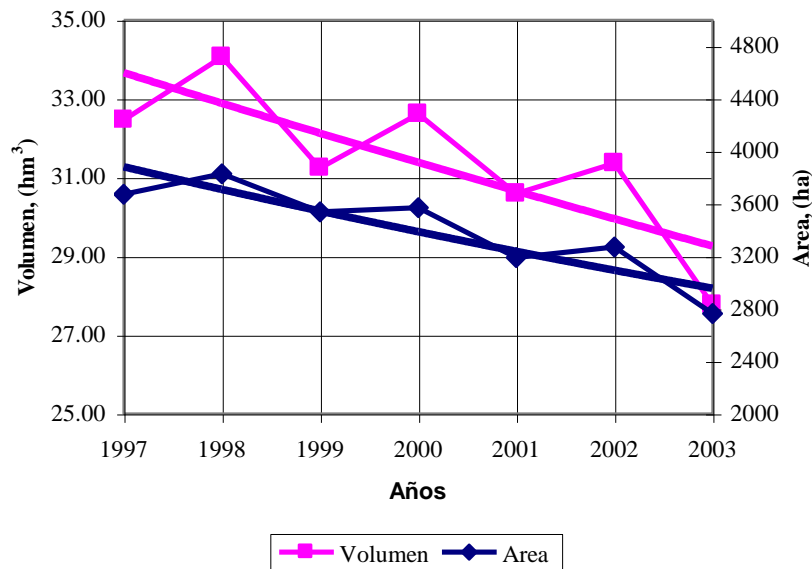


Figura No. III.7 Tendencia del área y los volúmenes bombeados en el acuífero Valle de Amazcala ⁽⁷⁾

⁷ Fuente Distrito de Desarrollo Rural, Delegación SAGARPA en Querétaro.

III.2.2 Estimación de la extracción por superficie y requerimientos de riego

Para estimar la cantidad de agua usada en el sector agrícola, se utilizaron varios métodos, iniciando con una estimación basada en la estadística agrícola del Municipio de El Marqués y que ha sido recabada por el personal del Distritos de Desarrollo Rural, Delegación SAGARPA, Querétaro, para cada cultivo y para los subciclos agrícolas de otoño-invierno del año 2003 y los perennes en este mismo período, y para el de primavera-verano del 2002⁽⁸⁾ correspondientes al municipio de “El Marques”. El área reportada en la estadística a nivel municipal se ajustó al porcentaje correspondiente al acuífero Valle de Amazcala, considerando fracciones de los municipios compartidos con el acuífero San Juan del Río, de acuerdo a los valores obtenidos de las imágenes de satélite para los correspondientes subciclos agrícolas.

Para cada cultivo se tiene un estimado de la lámina de riego aplicada, obtenido del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. Las láminas fueron medidas en las zonas regadas por pozos, dentro del área del propio distrito.

La estadística agrícola de SAGARPA reportada para el Distritito no distingue lo que se riega con agua de gravedad y/o con agua de pozo, por lo tanto la estimación del volumen utilizado para regar en el acuífero de Valle de Amazcala, se hizo considerando las láminas netas de riego con una eficiencia de conducción del 90%, este porcentaje se asignó con base en varias mediciones que se hicieron en zonas regadas con pozos del distrito.

III.2.3 Uso agrícola en el acuífero Amazcala

El acuífero Valle de Amazcala, tiene un área de labor del orden de 18,800 ha, de las cuales solo 2,971 hectáreas, ver Cuadro III.3. Cabe aclarar nuevamente, que ésta superficie regada fue estimada con estadísticas y con la interpretación de las imágenes de satélite como se ha indicado en el Cuadro III.2 y pertenece al ciclo otoño-invierno y cultivos perennes 2003 y al ciclo primavera-verano 2002.

⁸ Delegación SAGARPA, en Querétaro.

Cuadro No. III.3 Áreas regadas por municipio en la zona del acuífero Valle de Amazcala⁽⁹⁾

| | Cultivo | Área (ha) | Área (%) |
|------------------|--------------------------|------------------|-----------------|
| Primavera-Verano | Maíz Forrajero en Verde | 919 | 30.91 |
| | Maíz Grano | 578 | 19.44 |
| | Total | 1,497 | |
| Otoño-Invierno | Avena Forrajera en Verde | 195 | 6.56 |
| | Cebada de Grano | 52 | 1.75 |
| | Rye Grass | 74 | 2.49 |
| | Trigo Forrajero en Verde | 26 | 0.87 |
| | Trigo Grano | 2 | 0.07 |
| | Triticale Forrajero | 27 | 0.91 |
| | Total | 374 | |
| Perennes | Alfalfa Verde | 1,100 | 37.00 |
| | Total | 1,100 | |
| Total | | 2,971 | 100.00 |

El cuadro anterior muestra que en el área donde se localiza el acuífero Valle de Amazcala, los cultivos perennes representan el 37% del área total regada y los de primavera-verano constituyen aproximadamente el 50% del área, mostrando su importancia dentro del área del acuífero. En lo que concierne a los cultivos de otoño-invierno tienen poca importancia dentro del acuífero, ya que solo contribuyen con el 13% del área total regada. Cabe mencionar que en los últimos años el patrón de cultivos está tendiendo hacia los forrajes, pues representan actualmente el 79% del área total regada.

La estimación de las superficies con imágenes de satélite, se hicieron a partir de dos imágenes; una para las superficies de los cultivos de otoño-invierno y cultivos perennes, y la otra para las superficies de los cultivos de primavera-verano, con el objetivo de verificar los datos reportados en las estadísticas y para ubicar las áreas de cultivo en el modelo de simulación.

La diferenciación entre áreas de cada cultivo, se realizó por medio de una clasificación supervisada, que consistió en una caracterización en campo. Primero, se realizó un recorrido ubicando polígonos de cada cultivo, posteriormente con la ayuda del catastro de la superficie sembrada empalmada en cada imagen, se determinó la superficie de cada uno de ellos.

En la Figura III.8 se observan las superficies regadas de los cultivos dominantes, durante el ciclo de otoño-invierno y los cultivos perennes.

⁹ Delegación SAGARPA, en Querétaro.

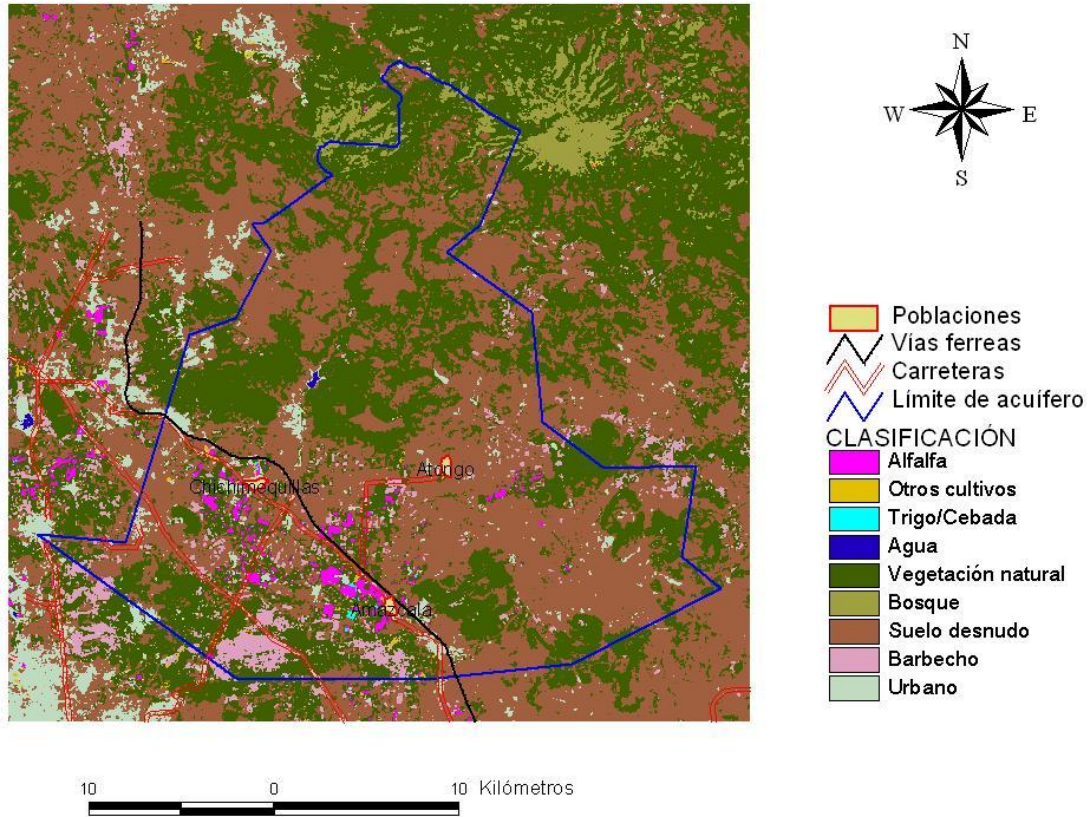


Figura No. III.8 Clasificación de las superficies de los cultivos, en el ciclo otoño-invierno y perennes en el Acuífero Valle de Amazcala

Se observa en esta figura que una pequeña parte del área del acuífero regada en el subciclo agrícola de otoño-invierno del 2003, fue trigo y cebada (azul). El área estimada con la imagen de satélite fue de 342 hectáreas, de las cuales el 23% correspondieron a dichos cultivos. Lo anterior, es consistente con las 376 ha estimadas con estadísticas, de las cuales el 21% fueron de trigo y cebada, ver Cuadro III.3.

En lo que respecta a los cultivos perennes, se observa en la Figura III.8 que el cultivo dominante es alfalfa (morado), su área estimada con la imagen de satélite fue de 1,063 ha, área que es consistente con las 1,100 ha estimadas con estadísticas, ver Cuadro III.3.

Las superficies de los cultivos regados durante el ciclo primavera-verano del 2002, se pueden observar en la Figura III.9.

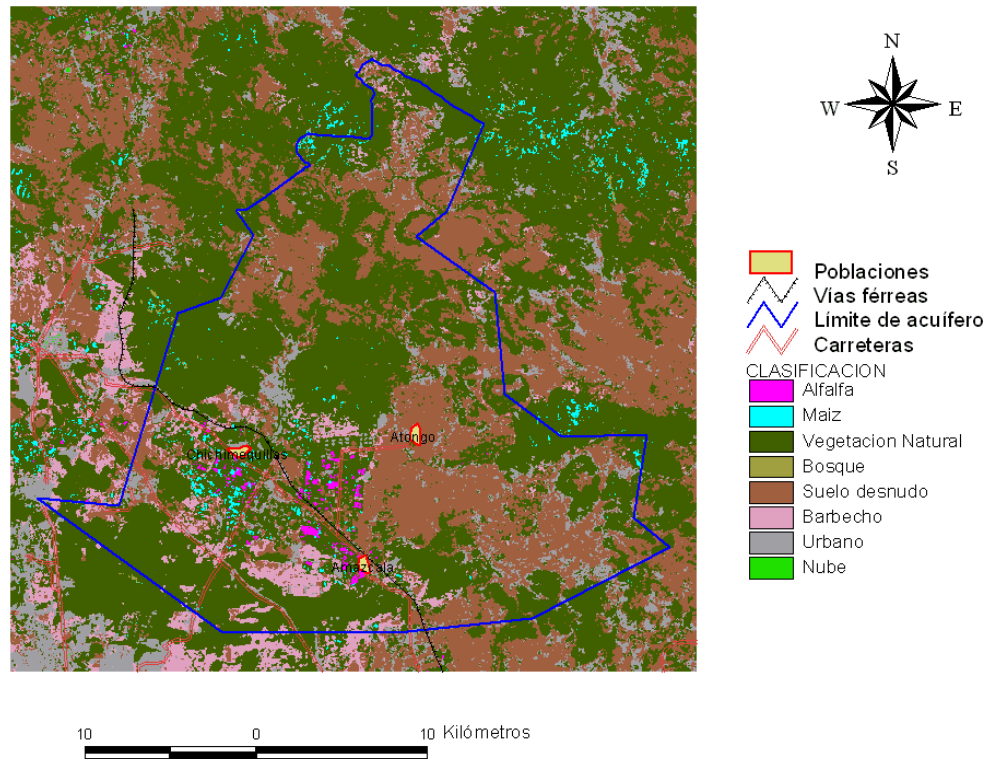


Figura No. III.9 Clasificación de las superficies de los cultivos, en el ciclo primavera-verano en el Acuífero Valle de Amazcala

Se observa en la Figura III.8 que el cultivo dominante fue maíz (azul), su área estimada con la imagen de satélite fue de 1,655 hectáreas, área que es consistente con las 1,497 hectáreas estimadas con estadísticas, ver Cuadro III.3.

Es importante mencionar, que la diferencia entre el área estimada con imágenes de satélite para los tres subciclos (otoño-invierno, primavera-verano y perennes) con respecto al área estimada con estadísticas fue de $\pm 3 \%$, lo cual está en los márgenes permisibles de error. Dicha diferencia de estimación entre los dos métodos se debe a errores de apreciación en el campo por el personal que elaboró las estadísticas y a posibles errores en los métodos de clasificación de las imágenes.

También, se calcularon los volúmenes usados, los volúmenes de requerimiento de riego, las eficiencias del uso del agua de riego y la distribución del volumen de agua en función del tipo de fuente (agua subterránea y superficial).

En lo que concierne al volumen utilizado para riego, se calculó con las láminas medias ponderadas por cultivo, los resultados se muestran en el cuadro III.4. Ver el Apéndice 5.

Cuadro No. III.4 Volúmenes de agua estimados en hm^3 por ciclo agrícola en el acuífero Valle de Amazcala

| Volúmenes Usados en hm^3 | | | |
|-----------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| O-I | Perennes | P-V | Total |
| 3.14 | 19.80 | 8,06 | 31.00 |
| 3.14 | 19.80 | 8.06 | 31.00 |

Los volúmenes de requerimiento de riego se obtuvieron de restar los volúmenes de precipitación efectiva a los volúmenes de uso consuntivo, ver Apéndice 5. Para el cálculo del uso consuntivo de los cultivos se utilizaron los programas CROPWAT⁽¹⁰⁾ y REQUERI⁽¹¹⁾. A continuación se presentan los volúmenes de requerimiento, Cuadro III.5.

Cuadro No. III.5 Volúmenes de requerimiento de riego en hm^3 por ciclo agrícola en el acuífero Valle de Amazcala

| Volumen de requerimientos de riego en hm^3 | | | |
|---|--------------|-------------|--------------|
| O-I | Perennes | P-V | Total |
| 2.43 | 13.31 | 5.59 | 21.33 |
| 2.43 | 13.31 | 5.59 | 21.33 |

La eficiencia del uso del agua de riego para el acuífero, se estimó dividiendo los volúmenes de requerimiento entre los volúmenes usados, ver Cuadro III.4.

Cuadro No. III.6 Eficiencias del uso del agua de riego por municipio y ciclo agrícola en el acuífero Valle de Amazcala

| Eficiencias | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| O-I | Perennes | P-V | Total |
| 0.77 | 0.67 | 0.69 | 0.69 |
| 0.77 | 0.67 | 0.69 | 0.69 |

El volumen extraído del acuífero (pozos), se estimó restando al volumen usado dentro de los límites del mismo el volumen usado de las presas, en cada uno de los subciclos de riego. Ver Cuadro III.7.

Cuadro No. III.7 Volúmenes usados en hm^3 de presas y de pozos en el acuífero Valle de Amazcala

| Volúmenes Usados en hm^3 | | |
|-----------------------------------|-------------|--------------|
| Total | Presas | Pozos |
| 31.00 | 1,18 | 29.83 |
| 31.00 | 1,18 | 29.83 |

¹⁰ <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwat.stm>

¹¹ Palacios V. E. 2002. ¿Por qué, Cuándo, Cuánto y Cómo Regar? Para Lograr Mejores Cosechas. Editorial Trillas. México, D.F. 214 Pág.

Finalmente, en el Cuadro III.8 se muestran las áreas cultivadas, la lamina y el volumen de la precipitación efectiva, del uso consuntivo y del agua utilizada para el uso de aguas subterráneas.

Cuadro No. III.8 Volumen usado y volumen de requerimiento de riego en hm^3 de pozos en el acuífero Valle de Amazcala

| Cultivo | Área ha | Lam. Prec. Efectiva cm | Vol. Prec. Efectiva hm^3 | Lam. Uso Consum. cm | Vol. Uso Consum. hm^3 | Vol. Reque. Riego hm^3 | Lamina Bruta cm | Vol. Bruto hm^3 |
|--------------------------|--------------|------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| PRIMAVERA-VERANO | | | | | | | | |
| Maíz Forrajero en Verde | 919 | 20.51 | 1.89 | 55.94 | 5.14 | 3.26 | 50.00 | 4.60 |
| Maíz Grano | 382 | 22.23 | 0.85 | 62.53 | 2.39 | 1.54 | 60.00 | 2.29 |
| | 1,301 | | 2.73 | | 7.53 | 4.80 | | 6.89 |
| OTOÑO-INVIERNO | | | | | | | | |
| Avena Forrajera en Verde | 195 | 1.66 | 0.03 | 53.42 | 1.04 | 1.01 | 80.00 | 1.56 |
| Cebada de Grano | 52 | 1.66 | 0.01 | 53.42 | 0.28 | 0.27 | 80.00 | 0.41 |
| Rye Grass | 74 | 47.69 | 0.35 | 157.70 | 1.16 | 0.81 | 100.00 | 0.74 |
| Trigo Forrajero en Verde | 26 | 2.60 | 0.01 | 66.40 | 0.17 | 0.16 | 70.00 | 0.18 |
| Trigo Grano | 2 | 3.00 | 0.00 | 76.00 | 0.02 | 0.01 | 90.00 | 0.02 |
| Triticale Forrajero | 27 | 2.60 | 0.01 | 66.40 | 0.18 | 0.17 | 90.00 | 0.24 |
| | 374 | | 0.41 | | 2.84 | 2.43 | | 3.14 |
| PERENNES | | | | | | | | |
| Alfalfa Verde | 1,100 | 39.55 | 4.35 | 160.58 | 17.66 | 13.31 | 180.00 | 19.80 |
| | 1,100 | | 4.35 | | 17.66 | 13.31 | | 19.80 |
| TOTAL | 2,775 | | 7.49 | | 28.03 | 20.54 | | 29.83 |

El cuadro anterior muestra, que actualmente el área bajo riego con aguas subterráneas, los cultivos perennes son muy importantes, pues representan el 40% del área total regada al igual que los cultivos de primavera-verano, ya que constituyen aproximadamente el 47% del área. En lo que concierne a los cultivos de otoño-invierno tienen poca importancia en el acuífero.

Cabe nuevamente aclarar, que en los últimos años el patrón de cultivos está tendiendo hacia los forrajes, pues representan el 84% del área total regada y a su vez aplican el 90% del total del agua extraída.

Respecto a estudios anteriores, es importante mencionar, que el realizado por la Universidad Autónoma de Querétaro⁽¹²⁾ nombrado “Estudio integral del Recurso agua en los acuíferos del estado de Querétaro”, que tuvo como objetivo la revisión del modelo anterior (Actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro⁽¹³⁾) y la reformulación del modelo conceptual de los valles del Estado de Querétaro, fue calibrado para el periodo de

¹² CEA, Querétaro. Identificación de impactos al acuífero de San Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implementación del Proyecto: “Riego a la demanda en el Distrito de Riego 023 San Juan del Río” estado de Querétaro.

¹³ Actualización geohidrológica de los acuíferos del estado de Querétaro, elaborado por GUYSA, para el gobierno del estado de Querétaro, Comisión Estatal de Aguas, 1995.

1992 a 1996 en la mayoría de los valles, excepto en el valle de Querétaro donde el periodo utilizado fue hasta 2000.

Con respecto al Valle de Chichimequillas el número considerado de pozos de uso agrícola en dicho modelo fue de 85 y su volumen promedio de extracción para el año 2002⁽¹⁴⁾, con base en los datos del año 95 fue de 54.46 hm³. Cabe mencionar que dicha revisión no contempló la tecnificación que se llevó a cabo desde 1996 al 2002 con los programas de Uso Eficiente del Agua y el de Alianza para el Campo, por tal motivo se presenta una diferencia considerable entre el volumen calculado en este reporte (29.86 hm³/año) y el mencionado estudio.

El Programa de Uso eficiente del Agua en la Zona de Chichimequillas-Amazcala, reportó una superficie tecnificada de 3,513 ha y un volumen ahorrado de 25.54 hm³ de 1994 a 1998, como se muestra en el Cuadro III.9.

Dicho cuadro igualmente muestra que en el año de 1993 se extraían 63 hm³, con 90 pozos y que durante el periodo de 1994 a 1997 se implementó el Programa de uso eficiente del agua, el cual generó una disminución considerable en el volumen de extracción, ya que en dicho año el volumen de extracción fue de 47.77 hm³ y para 1997 fue de 40.49 hm³. Además, en el año de 1998 se redujo considerablemente la extracción, debido al Programa de Alianza para el Campo.

Cuadro No. III.9 Relación de pozos de uso agrícola activos y superficie actual tecnificada en el acuífero Valle de Amazcala⁽¹⁵⁾

| Tecnificación del Valle de Chichimequillas-Amazcala 1993-1998 | | | | | | | | Mpio. "El Marques" | | Valle de Amazcala | |
|---|-------------|------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Etapas | Año | Sup. Riego ha | Sup. Riego Tec. (ha) | Vol. Ext. hm ³ | Vol. Ahorrado hm ³ | No. Pozos | No. Pozos Tec. | Sup. Riego | Sup. Tec. ha | Sup. Riego ha | Sup. Tec. Ha |
| Uso Eficiente | 1993 | 4300 | 0 | 63.00 | 0.00 | 90 | 0 | | | | |
| I | 1994 | 2958 | 1342 | 47.77 | 15.23 | 64 | 26 | | | | |
| II | 1996 | 1879 | 2421 | 41.95 | 21.05 | 39 | 51 | | | | |
| III | 1997 | 1447 | 2853 | 40.49 | 22.51 | 28 | 62 | 7813 | 969 | 3672 | 432 |
| Alianza | 1998 | 787 | 3513 | 37.46 | 25.54 | 15 | 75 | 8143 | 1211 | 3827 | 660 |

Asimismo, el Programa de Uso eficiente del Agua en la Zona de Chichimequillas-Amazcala proyectó un ahorro de volumen del 38% con respecto al volumen extraído de la superficie no tecnificada para el periodo de 1999 a 2002, ver Cuadro III.10. Es importante mencionar que en este mismo año se incrementó el número de pozos, de 90 a 105, lo que motivo el aumento en la superficie de riego y el volumen de extracción (43.01 hm³).

¹⁴ CEA, Querétaro. Identificación de impactos al acuífero de San Juan del Río-Pedro Escobedo, por la implementación del Proyecto: "Riego a la demanda en el Distrito de Riego 023 San Juan del Río" estado de Querétaro.

¹⁵ Gobierno del Estado de Querétaro. 1997. Programa de Uso Eficiente del Agua en la Zona de Chichimequillas-Amazcala.

Cuadro No. III.10 Relación de Pozos de uso agrícola activos y superficie actual no tecnificada en el acuífero Valle de Amazcala⁽¹⁶⁾

| Área sin tecnificación del Valle de Chichimequillas-Amazcala 1998 | | | | | Marques | | Valle de Amazcala | |
|---|-------------|------------------|------------------------------|--------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Observación | Año | Sup. Riego ha | Vol. Ext. hm ³ | No. Pozos | Sup. Riego ha | Sup. Tec. ha | Sup. Riego ha | Sup. Tec. Ha |
| Pozos y área sin tecnificar | 1998 | 787 | 7.6 | 15 | | | | |
| Aumentó la superficie de riego y el no. de pozos | 1998 | 225 | 5.55 | 15 | | | | |
| Resultados | 1998 | 1012 | 13.15 | 30 | 8143 | 1211 | 3827 | 660 |

Con los datos del cuadro anterior y con base en el Cuadro II.4 Capítulo II se realizó la proyección del volumen de extracción y el volumen ahorrado para la superficie no tecnificada de 1999 a 2002, ver Cuadro III.11.

En el cuadro siguiente se muestra cómo se ha tecnificando la superficie sin tecnificar, así como su volumen ahorrado y el volumen total extraído para el año 2002.

Cuadro No. III.11 Proyección de volumen extraído y ahorrado para el periodo de 1999 a 2002 en el acuífero Valle de Amazcala

| Proyección de la tecnificación en el área no tecnificada del Valle de Chichimequillas-Amazcala 1999-2002 | | | | | | | | Municipio "El Marques" | | Acuífero Valle de Amazcala | |
|--|------|------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| Etapas | Año | Sup. Riego ha | Sup. Riego Tec. (ha) | Vol. Ext. hm ³ | Vol. Ahorrado hm ³ | No. Pozos | No. Pozos Tec. | Sup. Riego ha | Sup. Tec. haa | Sup. Riego ha | Sup. Tec. ha |
| Nuevas Condiciones | 1998 | 1012 | 3513 | 43.01 | 25.54 | 30 | 75 | 8143 | 1211 | 3827 | 660 |
| Alianza | 1999 | 795 | 217 | 41.03 | 1.98 | 20 | 10 | 7527 | 433 | 3538 | 217 |
| Alianza | 2000 | 608 | 404 | 39.33 | 3.68 | 14 | 16 | 7594 | 398 | 3569 | 187 |
| Alianza | 2001 | 329 | 683 | 37.31 | 5.7 | 8 | 22 | 6784 | 693 | 3188 | 279 |
| Alianza | 2002 | 31 | 981 | 35.15 | 7.86 | 1 | 29 | 6957 | 633 | 3270 | 298 |

El cuadro anterior, indica que el volumen de extracción proyectado para el año 2002, sería de 35.15 hm³, dicho volumen es similar al estimado en este reporte (29.83 hm³) para el mismo año; la diferencia consiste en que el volumen estimado en este reporte, consideró 2,775 ha, área determinada con las estadísticas agrícolas⁽¹⁷⁾ y las imágenes de satélite, y el volumen proyectado consideró una superficie de riego de 4,525 ha, área proyectada en El Programa de Uso eficiente del Agua en la Zona de Chichimequillas-Amazcala.

En lo que respecta al uso de aguas superficiales, solo se sembraron 196 hectáreas de maíz, las cuales ocuparon un volumen de 1.18 hm³.

¹⁶ Gobierno del Estado de Querétaro. 1997. Programa de Uso Eficiente del Agua en la Zona de Chichimequillas-Amazcala.

¹⁷ Distrito de Desarrollo Rural, Delegación SAGARPA, Querétaro.

III.3 Uso industrial

Según el REPDA el volumen concesionado al acuífero de Amazcala para uso industrial fue de 0.46 hm³/año, al 23 de septiembre de 2003 y en ausencia de algún otro dato se ha considerado esta extracción.

III.4 Uso público urbano

De la población total del municipio El Marqués, poco más del 50% corresponde a la zona cubierta por el acuífero, unos 35,000 habitantes, con una tasa de crecimiento de 1.5% anual, misma que se espera disminuya a 0.8% hacia el año 2030⁽¹⁸⁾, alcanzando una población de 47,500 habitantes, ver Cuadro II.2 del Capítulo II y Figura III.10.

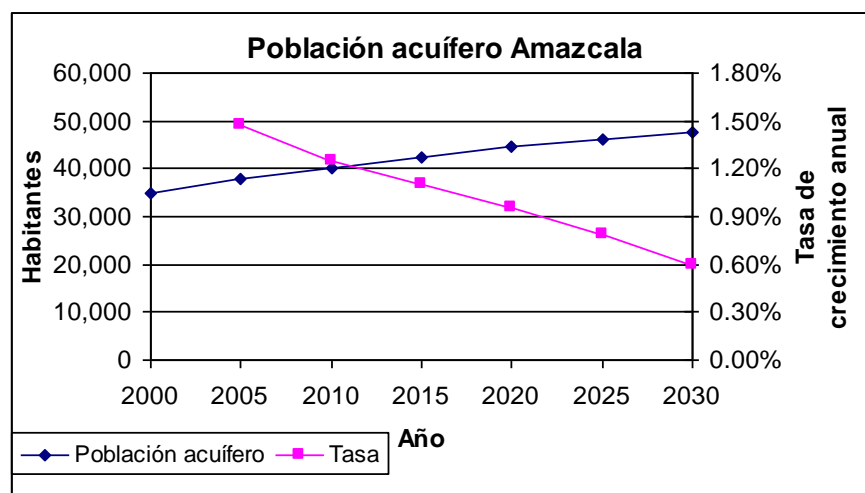


Figura No. III.10 Población actual y futura en el área del acuífero Valle de Amazcala

Una estimación del requerimiento de agua para el uso público urbano se puede obtener considerando una dotación de 250 l/hab-día, aunque esta dotación puede incrementarse en zonas rurales por el abasto a animales domésticos. Con base en lo anterior, la demanda actual en el uso público urbano se ha estimado en 3.2 hm³/año..

III.5 Uso actual del uso del agua

Finalmente y de acuerdo a las estimaciones anteriores en los usos agrícola y público urbano, a continuación, se presentan los volúmenes de extracción estimados para el año 2002 de agua subterránea y de agua por gravedad. Cabe aclarar que el volumen para uso industrial se tomo del REPDA original, así como, el doméstico y pecuario; y el de exportación a la ciudad de Querétaro se tomo de la CEA y es equivalente a 150 lps.

El Cuadro III.12 muestra la distribución de las cantidades de agua subterránea extraídas para los diferentes usos.

¹⁸ CONAPO

Cuadro No. III.12 Uso actual del agua subterránea (2002)

| Uso | Volumen hm ³ /año | Porcentaje % |
|---|---------------------------------|-----------------|
| Agrícola | 29.83 | 75.18 |
| Público urbano | 3.20 | 8.06 |
| Público urbano Exportación a Querétaro | 4.70 | 11.84 |
| Industrial | 0.50 | 1.26 |
| Doméstico y Pecuario | 1.45 | 3.66 |
| Total | 39.68 | 100.00 |

La Figura III.11 muestra que el uso agrícola es el que mayor cantidad de agua utiliza, con un 75% del volumen total extraído, seguido del uso publico urbano, del público urbano exportado a Querétaro y del doméstico y pecuario con 8%, 12 y 4%, respectivamente, y por último el uso industrial con 1%. Valor muy semejante al REFDA pbtenido para el nuevo límite del acuífero (Cuadro II.10)

Uso del Agua Subterránea en el Acuífero Valle de Amazcala

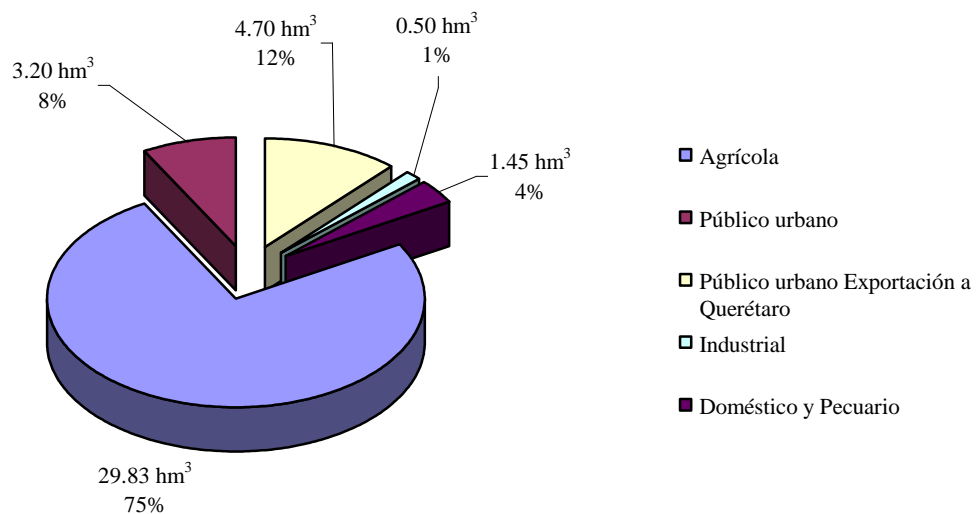


Figura No. III.11 Distribución del uso del agua subterránea en el acuífero Valle de Amazcala

En el caso del volumen de agua superficial, esta se utiliza sólo para uso agrícola, ver Cuadro III.13.

Cuadro No. III.13 Uso actual del agua superficial (2002)

| Uso | Volumen Hm ³ /año | Porcentaje % |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------|
| Agrícola | 1.175 | 100.00 |
| Público urbano | 0 | 0.00 |
| Industrial | 0 | 0.00 |
| Total | 1.175 | 100.00 |

La eficiencia del uso del agua en las zonas de riego del acuífero, se calculó para agua subterránea y para agua superficial.

La Figura III.12 muestra que el volumen usado de agua subterránea para uso agrícola fue de 29.83 hm³ anuales, con base en la eficiencia del uso del agua de riego en el acuífero (69%), sólo se aprovecharon 20.58 hm³ y se perdieron 9.25 hm³. De este último volumen se infirió que el 50% se infiltró nuevamente hacia el acuífero como retorno de riego y el otro 50% se perdió por evaporación en las regaderas y terreno aledaños y parte por escurrimiento superficial.

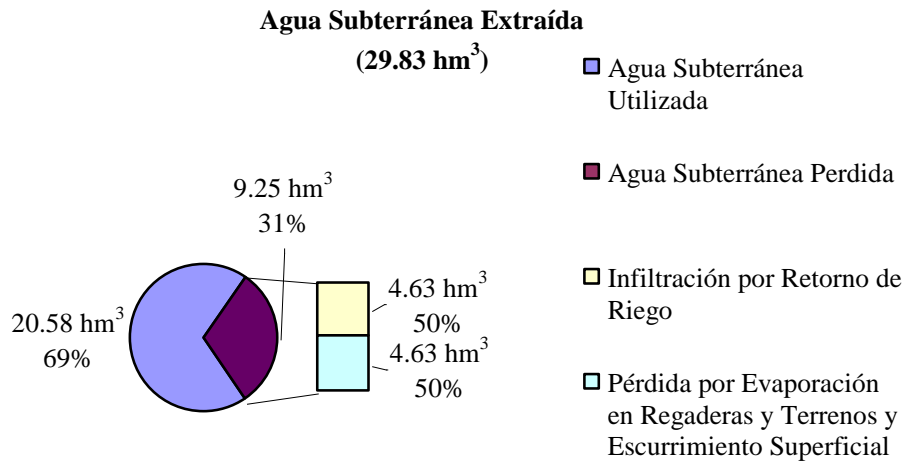


Figura No. III.12 Eficiencia del uso del agua de riego con aguas subterráneas en el acuífero Valle de Amazcala

La Figura III.13 muestra que el volumen usado de agua superficial para uso agrícola fue de 1.17 hm³ anuales, con base en la eficiencia del uso del agua en el acuífero (69%), sólo se aprovecharon 0.81 hm³ y se perdieron 0.36 hm³. De este último volumen se infirió que el 50% se infiltró nuevamente hacia el acuífero como retorno de riego y el otro 50% se perdió por evaporación en las regaderas y terreno aledaños y parte por escurrimiento superficial.

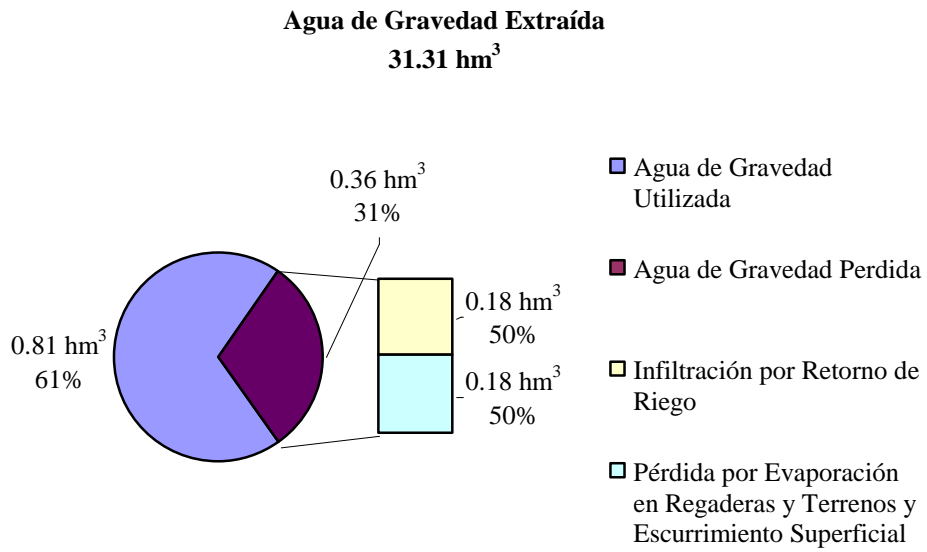


Figura No. III.13 Eficiencia del uso del agua de riego con aguas de gravedad en el acuífero Valle de Amazcala

CAPÍTULO IV ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS ECONÓMICO-AMBIENTALES CAUSADOS POR LA SOBREEXPLOTACIÓN

De acuerdo a los términos de referencia, para fines del presente estudio se estimaron los costos de los impactos ambientales identificados a la fecha; considerando como impacto económico ambiental al cambio neto resultante de un efecto ambiental (sobreeplotación), estos cambios se ubican en el bienestar económico y social de la población y en las condiciones óptimas del ecosistema.

IV.1 Costos económico-ambientales debidos a la disminución del flujo base

Aun cuando no se cuenta con una estación hidrométrica ubicada en un punto estratégico que permitiera recolectar información de los volúmenes escurridos en la región del acuífero Valle de Amazcala, si se sabe que el río Chichimequillas, que es el principal afluente de la región tiene un comportamiento intermitente, por lo que no hay elementos que evidencien la existencia de un flujo base influenciado por el acuífero, por lo anterior, para este punto no se puede considerar ningún costo económico-ambiental debido a la disminución del flujo base.

IV.2 Costos económico-ambientales debidos a la reducción de la cámara de bombeo

En cuanto a los costos económico-ambientales totales generados por la reducción de la cámara de bombeo, estos se pueden dividir en dos componentes:

- a) **Costos por la reducción de la cámara de bombeo:** Los costos que son puntuales en el tiempo, tales como: la perforación del pozo (cuya profundidad de excavación esta en función, entre otras variables, de una vida útil programada media de 20 años, por lo que al acelerar el proceso de abatimiento en el acuífero, esta vida útil se reduce de manera significativa, que de acuerdo a experiencias en el acuífero de Celaya dicha reducción alcanza apenas la mitad de la programada, 10 años, para fines prácticos en el presente estudio adoptaremos este valor como constante en la zona de estudio). En términos financieros estos se identifican iguales a los costos fijos (CF) ya que en el mismo periodo de 20 años se deberá hacer una inversión programada más una reposición.
- b) **Costos debidos al abatimiento:** El incremento en los costos de extracción debidos al incremento de la profundidad al nivel dinámico y por consiguiente a la mayor demanda de energía para mantener constante el volumen de extracción. En términos financieros estos se identifican como costos variables (CV) e incluyen además a todos aquellos costos que son generados de manera continua por la utilización del pozo, como costos de energía y mantenimiento preventivo. Para fines prácticos en el presente estudio solo se consideraran únicamente como costos variables aquellos generados por el consumo de energía eléctrica.

Los costos económicos-ambientales totales están compuestos por la suma de costos fijos y costos variables + costos por la reducción de la cámara de bombeo:

$$C = CF + CV + CRCB$$

Donde:

| | |
|------|--|
| C | Costos económico-ambientales totales (\$) |
| CF | Costos fijos (\$) |
| CV | Costos variables (\$) |
| CRCB | Costo por la reducción de la cámara de bombeo (\$) |

De acuerdo a la metodología propuesta por Palacios¹, tanto los costos fijos como los costos variables, se pueden modelar matemáticamente como una función del la profundidad al nivel dinámico (ND), considerando como condiciones medias en el acuífero Valle de Amazcala los datos reportados para 2002, en que se estimo una profundidad al nivel dinámico de 102.2 m, una eficiencia electromecánica de 0.42 y una tarifa eléctrica de \$ 0.32 Kwh:

$$C = f(ND)$$

Siguiendo la metodología antes mencionada, en el Plan de manejo para el acuífero de Tecamachalco, Pue². se encontró que los costos fijos se pueden modelar matemáticamente de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CF = 0.0007 \times ND + 0.0597$$

De igual manera, se encontró que los costos variables se pueden modelar matemáticamente relacionándolos como una función del nivel dinámico, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CV = 0.0018 \times ND^{1.0483}$$

En la Figura II.19 del Capítulo II, se muestra la evolución del valor medio de la profundidad al nivel estático, pasando de 74.4 a 87.2 m en el periodo de 1993 a 2002. Aun cuando la diferencia entre el nivel estático y dinámico varia en función de las condiciones particulares y espaciales del acuífero, para fines prácticos se supondrá que el nivel dinámico tiene un comportamiento paralelo en el tiempo al estático, con valores 15 m mayores a este ultimo.

A partir de dicha figura se estima un valor medio de abatimiento de -2.2 m año⁻¹. De esta información se presenta el Cuadro IV.1 donde se puede apreciar como se han incrementado los costos por extracción en el periodo de observación, pasando de \$ 0.000 m³ en 1993 (año de referencia) a \$ 0.048 m³ en 2003, proyectados a valor actual. La Figura IV.1. muestra únicamente el incremento de los costos fijos de bombeo debidos al incremento en la profundidad al nivel, mientras que en la Figura IV.2 se muestra los costos totales.

¹ Palacios, V. E. Por qué, cuando, cuánto y como regar. México,. Ed. Trillas Mex. 2000

² CNA, Subdirección General Técnica, Gerencia de aguas subterráneas. Plan de manejo para el acuífero de Tecamachalco, Pue. 2002

Cuadro No. IV.1. Evolución en el tiempo de los costos por reducción de la cámara de bombeo y abatimiento proyectados a valor actual.

| AÑO | Prof. ND m | CF (\$ por m ³) | CV (\$ por m ³) | CRCB (\$ por m ³) | Costo Bombeo (CF+CV) | CRCB Vol. Sob. (\$ por m ³) | Costo Bombeo Vol. Sob. (\$ por m ³) | Costo Total (\$ por m ³) | Volumen hm ³ año | Costo total M\$ año ⁻¹ |
|------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|--|---|--------------------------------|---|
| 1993 | 89.4 | 0.122 | 0.200 | 0.122 | 0.322 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 59.480 | 0.000 |
| 1994 | 96.2 | 0.127 | 0.216 | 0.127 | 0.343 | 0.005 | 0.021 | 0.025 | 57.280 | 1.460 |
| 1995 | 97.1 | 0.128 | 0.218 | 0.128 | 0.346 | 0.005 | 0.023 | 0.029 | 55.080 | 1.590 |
| 1996 | 97.9 | 0.128 | 0.220 | 0.128 | 0.348 | 0.006 | 0.026 | 0.032 | 52.880 | 1.685 |
| 1997 | 98.8 | 0.129 | 0.222 | 0.129 | 0.351 | 0.007 | 0.029 | 0.035 | 50.680 | 1.786 |
| 1998 | 99.6 | 0.130 | 0.224 | 0.130 | 0.353 | 0.007 | 0.031 | 0.038 | 48.480 | 1.855 |
| 1999 | 100.5 | 0.130 | 0.226 | 0.130 | 0.356 | 0.008 | 0.034 | 0.042 | 46.280 | 1.927 |
| 2000 | 101.1 | 0.131 | 0.227 | 0.131 | 0.358 | 0.008 | 0.036 | 0.044 | 44.080 | 1.935 |
| 2001 | 101.6 | 0.131 | 0.229 | 0.131 | 0.360 | 0.009 | 0.037 | 0.046 | 41.880 | 1.917 |
| 2002 | 102.2 | 0.131 | 0.230 | 0.131 | 0.361 | 0.009 | 0.039 | 0.048 | 39.680 | 1.906 |

Vol. Sob. = Volumen Sobreexplotado

Si se considera una extracción bruta actual de 39.68 hm³, se tiene una costo actual neto de 1.906 millones de pesos.

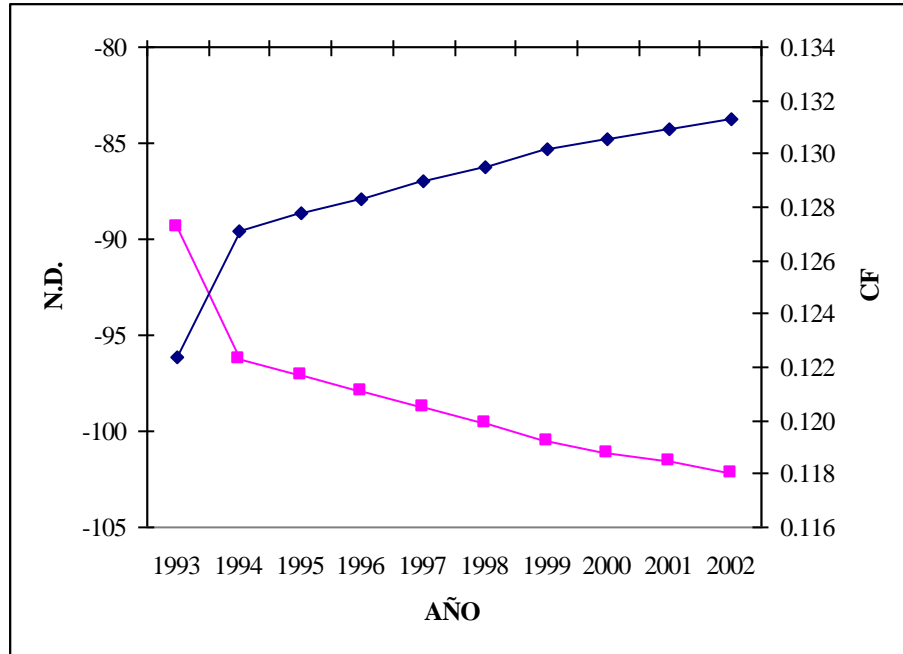


Figura No. IV.1. Evolución de los costos fijos debidos a la reducción de la cámara de bombeo.

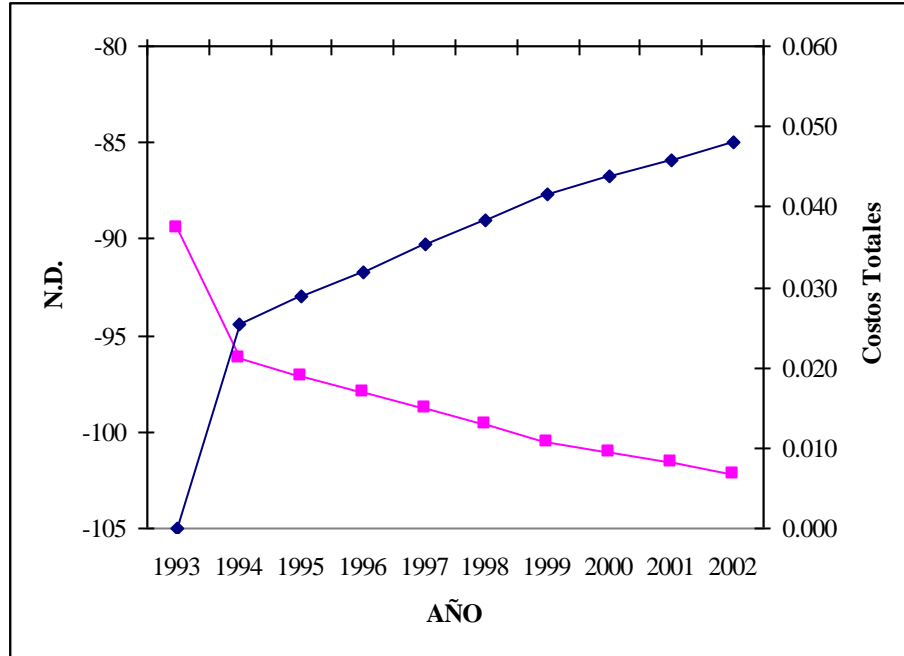


Figura No. IV.2. Evolución de los costos económico-ambientales (abatimiento mas reducción de cámara de bombeo) debidos al incremento en la profundidad de bombeo.

IV.3. Costos económico - ambientales debidos a la modificación de la calidad del agua

Para determinar la evolución de la calidad del agua es necesario contar con un mínimo de dos puntos de referencia en el tiempo, por desgracia en el caso del acuífero Valle de Amazcala no se cuenta con registros que permitan determinar alguna tendencia, por lo que no es posible determinar algún costo debido a este concepto. Además, resulta oportuno mencionar que considerando los censos y estudios existentes para la región, así como consultas realizadas por el Colegio de Postgraduados en las visitas a la región, no existen reportes o evidencias de pozos que hayan cesado o modificado su volumen de extracción debido a alteraciones de la calidad del agua. Lo que corrobora el hecho de no considerar costos debidos a este concepto.

IV.4. Costos económico - ambientales debidos a la modificación del esquema de flujo subterráneo

En la Figuras II.11 del Capítulo II se muestran las configuraciones de las curvas de igual elevación al nivel estático para 1995. Se observa la tendencia de diferentes flujos hacia un cono de abatimientos que se forma en las cercanías de Amazcala y el poblado Santa Cruz, zona de marcada sobreexplotación local. Este flujo general NW-SE se une al proveniente del

NE desde las serranías En-Medio y El Zamorano, para adoptar en la planicie un sentido prácticamente norte-sur hasta sus límites con el acuífero de San Juan del Río ⁽³⁾. En esta figura se observa una salida por flujo subterránea indicada con rumbo N-S o ligeramente NW-SE, representando a su vez una alimentación horizontal subterránea al acuífero del valle de San Juan del Río.

De las mediciones realizadas en pozos piloto en el año de 2002 se elaboró la configuración de curvas de igual elevación al nivel estático que se muestra en la Figura II.12 del Capítulo II. En esta nueva configuración se observa que ya no se marca el flujo de agua hacia el acuífero de San Juan del Río, lo cual indica que la sobre explotación en el acuífero Valle de Amazcala ha alterado de manera directa los gradientes que favorecían dicho flujo.

Aun cuando es evidente que bajo estas condiciones el efecto económico no repercutiría sobre el acuífero de Valle de Amazcala, queda claro que es en este donde se origina el problema, por lo que se presenta el calculo del costo que para el acuífero de San Juan del Río representa el cese de dicho volumen subterráneo de recarga, bajo las siguientes consideraciones, basadas en la figura II.11:

| | |
|---------------------------------|--|
| Longitud de la zona fronteriza: | 15 km |
| Gradiente hidráulico: | 0.0125 m m ⁻¹ |
| Transmisividad: | $1.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ |

A partir de estas condiciones se estima que en 1993, el aporte de Acuífero Valle de Amazcala hacia el de San Juan del Río era del orden de 11.250 hm³ año⁻¹.

Para calcular cuanto cuesta dejar de pasar un volumen determinado que produce un beneficio, asumimos que se tiene un beneficio neto medio por m³ de \$ 0.532 por m³, igual al que el estimado en el capítulo III.

³ Opus. Cit . Identificación de impactos al acuífero Valle de San Juan del Río - Pedro Escobedo... CEA y UAQ. 2000.

Cuadro No. IV.2. Evolución de los costos económico - ambientales debidos a la modificación del esquema de flujo subterráneo.

| AÑO | Costo (\$ por m ³) | Volumen exportado (hm ³) | BENEFICIO* Millones de pesos | COSTO Por cambio de flujo M \$ año ⁻¹ | Costos ambientales totales (+costo total, Cuadro IV.1) M \$ año ⁻¹ |
|------|-----------------------------------|--|------------------------------------|---|--|
| 1993 | 0.532 | 11.25 | 5.99 | 0.00 | 0.000 |
| 1994 | 0.532 | 10.00 | 5.32 | 0.67 | 2.125 |
| 1995 | 0.532 | 8.75 | 4.66 | 1.33 | 2.920 |
| 1996 | 0.532 | 7.50 | 3.99 | 2.00 | 3.680 |
| 1997 | 0.532 | 6.25 | 3.33 | 2.66 | 4.446 |
| 1998 | 0.532 | 5.00 | 2.66 | 3.33 | 5.180 |
| 1999 | 0.532 | 3.75 | 2.00 | 3.99 | 5.917 |
| 2000 | 0.532 | 2.50 | 1.33 | 4.66 | 6.590 |
| 2001 | 0.532 | 1.25 | 0.67 | 5.32 | 7.237 |
| 2002 | 0.532 | 0.00 | 0.00 | 5.99 | 7.891 |

* Beneficio dejado de percibir en el acuífero de San Juan del Río

IV.5. Costos de los impactos económico - ambientales debidos a procesos de consolidación del terreno

No se cuenta con evidencias que indiquen la generación y/o incremento de costos de remediación a partir de procesos de consolidación del terreno.

Cuadro No. IV.3 Resumen, de los costos económicos ambientales, debidos a la sobreexplotación

| AÑO | Volumen de explotación | COSTO (Millones de pesos) | | | |
|------|------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------------|-------|
| | | Reducción de la cámara de bombeo | Abatimiento | Cambio de Flujo | TOTAL |
| 1993 | 59.480 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1994 | 57.280 | 0.273 | 1.187 | 0.665 | 2.125 |
| 1995 | 55.080 | 0.297 | 1.293 | 1.330 | 2.920 |
| 1996 | 52.880 | 0.315 | 1.371 | 1.995 | 3.680 |
| 1997 | 50.680 | 0.333 | 1.453 | 2.660 | 4.446 |
| 1998 | 48.480 | 0.346 | 1.508 | 3.325 | 5.180 |
| 1999 | 46.280 | 0.360 | 1.567 | 3.990 | 5.917 |
| 2000 | 44.080 | 0.361 | 1.574 | 4.655 | 6.590 |
| 2001 | 41.880 | 0.358 | 1.559 | 5.320 | 7.237 |
| 2002 | 39.680 | 0.356 | 1.550 | 5.985 | 7.891 |

IV.6. Costo del Agua

IV.6.1. Costo de extracción

Los costos de extracción del agua están relacionados a las tarifas por uso de energía eléctrica y por la vida útil del pozo y los equipos de bombeo, en tal sentido se tienen costos fijos y costos variables.

Para el cálculo de los costos fijos se tomaron en cuenta los costos directos entre los que se incluyeron: la perforación del pozo, costo de bomba y equipamiento, costos de reparación y mantenimiento, además en todos estos costos se consideraron aspectos como depreciación del pozo, interés del pozo, depreciación de la bomba y motor, interés bomba y motor y depreciación de la subestación eléctrica. Para lo anterior se considero una vida útil de 20 años para el pozo y 10 años para la bomba y estación eléctrica.

Para el cálculo de los costos variables se tomaron en cuenta los costos indirectos como: lubricantes y el consumo de energía eléctrica, relacionada al nivel dinámico y eficiencias electromecánicas.

Como se menciona en el punto IV.2, tanto los costos fijos como los variables se pueden modelar como función de la profundidad al nivel dinámico⁴.

Considerando como condiciones medias en el acuífero Valle de Amazcala los datos reportados para 2002, en que se estimo una profundidad al nivel dinámico de 102.2 m, una eficiencia electromecánica de 0.4 y una tarifa eléctrica de \$ 0.32 Kwh con tarifa subsidiada y de \$ 0.86/Kwh a tarifa real estimada por la CFE, se estimó un costo de extracción de 0.131 y 0.230 pesos por m³ para costos fijos y variables respectivamente, es decir un costo neto de \$ 0.361 por m³. En el cuadro IV.1 se presenta el costo neto para diferentes profundidades.

IV.6.2. Costo de oportunidad

Una manera de estimar el costo de oportunidad, es a través del valor marginal del agua y el beneficio neto (BN) de los agricultores. Para valuar lo anterior se utilizó la metodología desarrollada por Palacios. E., a partir de la cual se presenta la figura IV.3. que muestra la gráfica de los beneficios netos del sector agrícola con relación al volumen usado con subsidio. Posteriormente en la Figura IV.4, se muestra el valor marginal del agua con subsidio, como la pendiente de la curva de la gráfica anterior. De la misma manera se puede estimar el costo de oportunidad bajo la condición sin subsidio, esto se presenta en las Figuras IV.5 y IV.6.

⁴ Palacios, V. E. Por qué, cuando, cuánto y como regar. México, Mex. 1999.

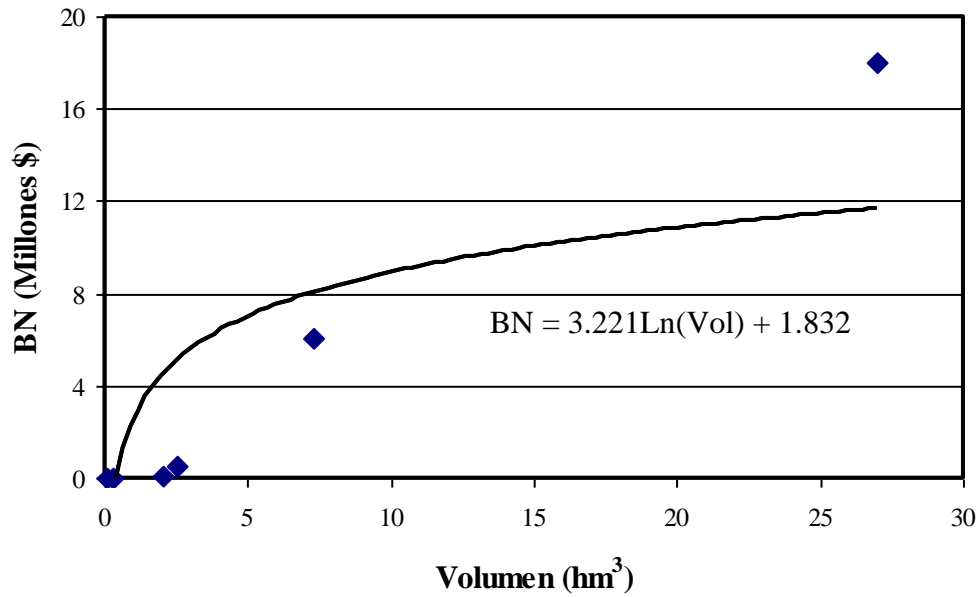


Figura No. IV.3 Relación volumen beneficio neto de los agricultores, considerando la tarifa actual de energía eléctrica con subsidio

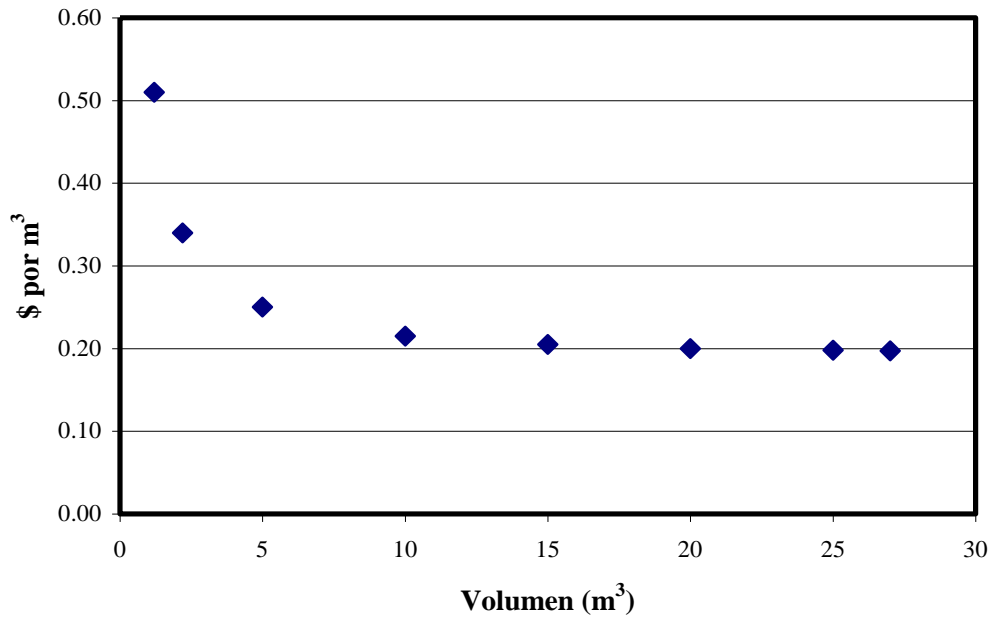


Figura No. IV.4. Valor marginal del agua en el sector agrícola, considerando la tarifa actual de energía eléctrica con subsidio.

Como se observa en la gráfica IV.5, el costo de oportunidad representado por la productividad marginal del agua es del orden de \$ 0.20 por m^3 con subsidio.

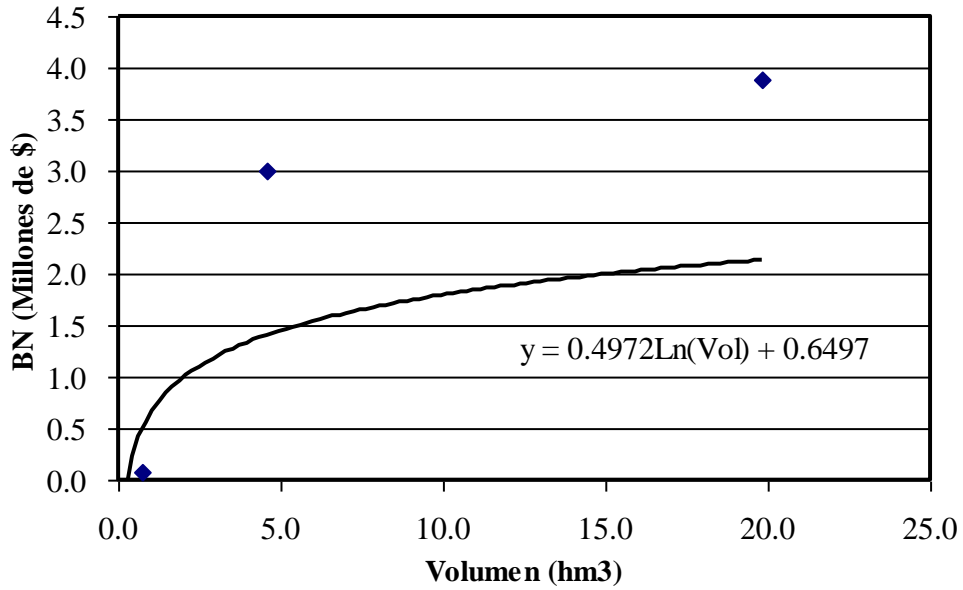


Figura No. IV.5 Relación volumen beneficio neto de los agricultores, considerando la tarifa actual de energía eléctrica sin subsidio

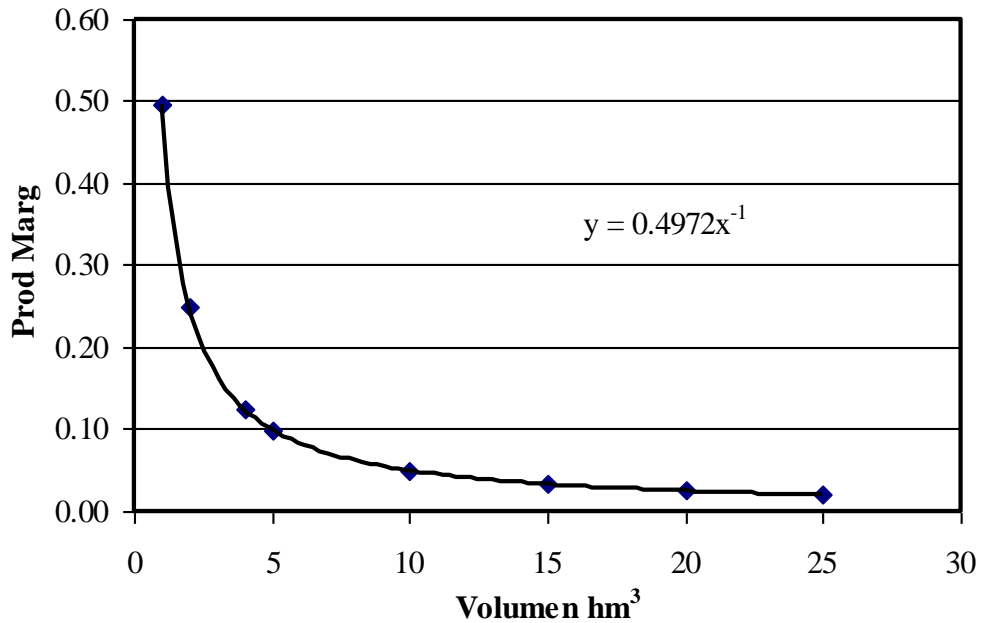


Figura No. IV.6. Valor marginal del agua en el sector agrícola, considerando la tarifa actual de energía eléctrica sin subsidio.

Como se observa en la gráfica IV.7, el costo de oportunidad representado por la productividad marginal del agua sin subsidio es del orden de \$ 0.02 por m³, valor mucho mas bajo que el estimado en condiciones de con subsidio (10% aproximadamente), esto debido a que la rentabilidad de los cultivos en el caso de no existir el subsidio tiende a cero o incluso es negativa.

IV.6.3. Costo de agotamiento

El proceso de agotamiento del recurso hídrico en la región de Valle de Amazcala ha provocado a través del tiempo una serie de efectos ambientales. Estos efectos se manifiestan en varias formas, desde problemas de calidad hasta el acotamiento de la vida útil de las explotaciones.

De acuerdo a los términos de referencia, aun cuando el incremento de los costos fijos y variables, es una consecuencia directa del agotamiento del acuífero, debido a que estos se han tratado a detalle en incisos anteriores, en este inciso se deberán considerar únicamente como costos de agotamiento aquellos derivados de costos de remediación por agrietamientos debidos a procesos de consolidación del terreno y deterioro de la calidad del agua.

Por lo anterior, y de acuerdo a lo expuesto e los incisos IV.3 y IV.5, para las condiciones particulares del acuífero Valle de Amazcala no se consideraron costos de agotamiento.

IV.6.4. Valor de escasez

El valor de escasez se estima considerando la diferencia en pesos de las tarifas por derecho y uso de agua, considerando la zona de disponibilidad donde se encuentra el acuífero y la zona de mayor disponibilidad, de acuerdo a las zonas establecidas en la Ley de derechos de Agua.

Considerando los datos de la La Ley Federal de Derechos del segundo semestre de 2003 y clasificando al acuífero Valle de Amazcala en la zona 2, se determino una diferencia neta (valor de escasez) de \$10.34 por m³, entre esta zona y la de mayor disponibilidad.

Una estimación del costo total del agua resulta de la suma de los factores descritos en los incisos anteriores. De acuerdo a esta metodología en el Cuadro IV.3 se presenta una síntesis del valor total del agua para el acuífero Valle de Amazcala, el cual se estima de \$ 11.038 por m³ con subsidio y de \$ 10.567 por m³ sin subsidio.

Cuadro No. IV.4 Estimación del costo del agua en el acuífero Valle de Amazcala.

| CONCEPTO | Costo (\$ por m3) con subsidio | Costo (\$ por m3) sin subsidio |
|----------------------|---|---|
| Costo de extracción | 0.098 | 0.207 |
| Costo de oportunidad | 0.600 | 0.020 |
| Costo de agotamiento | 0.000 | 0.000 |
| Valor de escasez | 10.340 | 10.340 |
| TOTAL | 11.038 | 10.567 |

IV.7. Estimación de los beneficios económicos producto de la sobreexplotación

A partir de conocer el beneficio del agua por metro cúbico extraído, es posible estimar el beneficio económico de la sobreexplotación considerando que en el balance para el acuífero Valle de Amazcala se tiene la siguiente información:

Cuadro No. IV.5. Ejemplo de la estimación del volumen sobreexplotado para el año 2003.

| CONCEPTO | Volumen hm ³ año |
|------------------------|--------------------------------|
| Extracción total bruta | 39.7 |
| Recarga total | 24.0 |
| Salidas horizontales | 0.0 |
| Minado del acuífero | -15.7 |

Es decir que para que el acuífero se encuentre en equilibrio, debe extraerse un máximo de 24 hm³ por año, por tanto el volumen sobreexplotado en el acuífero es aproximadamente de 15.7 hm³. Si consideramos que la productividad media del agua con subsidio es de \$ 0.532 por m³, y de \$ 0.083 por m³ sin subsidio, entonces podemos decir que el beneficio anual por la sobreexplotación es del orden de 8.36 y 1.30 millones por año respectivamente para el 2002.

De igual manera se calcularon los beneficios económicos producto de la sobreexplotación para cada uno de los años en el periodo 1993 a 2002, con y sin subsidio, los cuales se presentan en el Cuadro IV.5.

Cuadro No. IV.6 Estimación de los beneficios económicos producto de la sobreexplotación con y sin subsidio.

| AÑO | Beneficio (\$ por m ³) | | Volumen (hm ³) | Beneficio neto (Millones de \$) | |
|------|------------------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------|--------------|
| | Con subsidio | Sin subsidio | | Con subsidio | Sin subsidio |
| 1993 | 0.5710 | 0.1781 | 35.52 | 20.28 | 4.95 |
| 1994 | 0.5504 | 0.1278 | 33.32 | 18.34 | 3.09 |
| 1995 | 0.5476 | 0.1211 | 31.12 | 17.04 | 2.81 |
| 1996 | 0.5452 | 0.1152 | 28.92 | 15.77 | 2.56 |
| 1997 | 0.5424 | 0.1085 | 26.72 | 14.49 | 2.31 |
| 1998 | 0.5400 | 0.1026 | 24.52 | 13.24 | 2.08 |
| 1999 | 0.5372 | 0.096 | 22.32 | 11.99 | 1.85 |
| 2000 | 0.5354 | 0.0915 | 20.12 | 10.77 | 1.65 |
| 2001 | 0.5339 | 0.0878 | 17.92 | 9.57 | 1.48 |
| 2002 | 0.5320 | 0.0834 | 15.72 | 8.36 | 1.30 |

IV.8. Análisis de la relación costo - beneficio de la sobreexplotación

Para el análisis Beneficio – Costo de la sobreexplotación se consideraron las estimaciones anteriores, bajo la condición de “con subsidio” y “sin subsidio”, como se muestra en el cuadro

Cuadro No. IV.7 Relación beneficio costo, producto de la sobreexplotación considerando la situación con subsidio y sin subsidio.

| AÑO | Beneficio (Millones de \$) | | Costo (Millones de \$) | | B/C | |
|------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | Con subsidio | Sin subsidio | Con subsidio | Sin subsidio | Con subsidio | Sin subsidio |
| 1993 | 20.28 | 4.95 | 0.00 | 0.00 | | |
| 1994 | 18.34 | 3.09 | 2.13 | 1.35 | 8.63 | 2.29 |
| 1995 | 17.04 | 2.81 | 2.92 | 1.57 | 5.84 | 1.79 |
| 1996 | 15.77 | 2.56 | 3.68 | 1.75 | 4.29 | 1.46 |
| 1997 | 14.49 | 2.31 | 4.45 | 1.94 | 3.26 | 1.19 |
| 1998 | 13.24 | 2.08 | 5.18 | 2.10 | 2.56 | 0.99 |
| 1999 | 11.99 | 1.85 | 5.92 | 2.27 | 2.03 | 0.82 |
| 2000 | 10.77 | 1.65 | 6.59 | 2.38 | 1.63 | 0.69 |
| 2001 | 9.57 | 1.48 | 7.24 | 2.47 | 1.32 | 0.60 |
| 2002 | 8.36 | 1.3 | 7.89 | 2.56 | 1.06 | 0.51 |

Como se observa en el cuadro anterior y en la grafica IV.8, la relación B/C en los dos escenarios (con subsidio y sin subsidio) de la sobreexplotación del acuífero Valle de Amazcala se muestra una reducción a través del tiempo. Para el caso de con subsidio los valores van desde 8.63 en 1994 hasta 1.06 en 2002, lo que muestra que el beneficio así estimado es mayor que el costo pero esta relación ha venido decreciendo con el tiempo. Para el caso de sin subsidio los valores de la relación B/C van de 2.29 en 1994 hasta 0.51, lo que muestra que a términos reales, sin subsidio, los costos de la sobreexplotación son mayores que los beneficios, hasta por cinco veces.

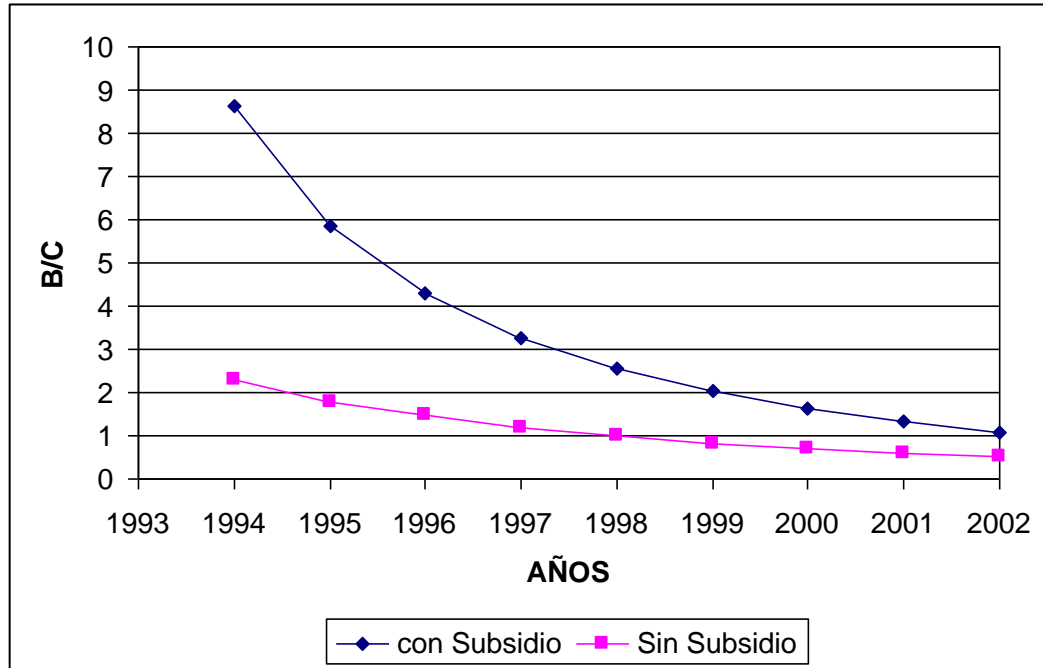


Figura No. IV.7. Evolución de la relación beneficio-costo (B/C) con y sin subsidio en el periodo 1993 a 2003

CAPITULO IX. Opciones de manejo de la demanda y de la disponibilidad

IX.1 Análisis de alternativas de manejo de la demanda

IX.1.1 Sector agrícola

El uso del agua subterránea en la agricultura, representó el principal usuario del agua subterránea participando con el 75 % de la extracción total del acuífero Valle de Amázcala. Actualmente se utiliza en este sector un volumen bruto que alcanza la cantidad de 29.83 hm³/año. Por otro lado, el deterioro inminente de la productividad del sector agrícola, debido a mercados y precios de los productos, a las láminas excesivas que se aplican y a la escasez de agua en la región, hacen necesario proponer esquemas de producción diferente, que incidan al mismo tiempo en un ahorro del agua y en una mayor productividad, que se traduzca en un mayor ingreso de los agricultores.

Bajo este contexto y con base en el objetivo principal planteado por los usuarios en el taller de planeación participativa que fue el de estabilizar el acuífero, es necesario crear una serie de alternativas que les permitan cumplir su objetivo.

De acuerdo a esta situación, es importante citar que actualmente los predios de los productores del acuífero Valle de Amazcala han sido beneficiados con los programas de tecnificación del riego, por consiguiente éstos tienen un alto grado de modernización (punto II.2 del Capítulo II), y los principales tipos de sistemas instalados son sistemas presurizados por compuertas.

Con base en lo antes mencionado y con los datos obtenidos en el Cuadro VII.3 Capítulo VII, se considera que se están aplicando láminas muy altas por el uso inadecuado de dichos sistemas de riego, esto implica que una parte significativa de esta láminas se pierdan como evapotranspiración no benéfica y otra parte retorne al acuífero. De acuerdo al balance de aguas realizado en el acuífero, se estimó que aproximadamente el 16% del agua de riego se pierde y otro 16% se percola nuevamente.

Por tanto una primera alternativa, que les ayudaría a los usuarios a estabilizar el acuífero sería fomentarles una cultura del agua, es decir que sepan cómo, cuándo, y cuánto regar?, por tanto es necesario reforzar e implementar los programas de asistencia técnica y de uso eficiente del agua.

El Cuadro IX.1, muestra que la extracción neta, bajo los sistemas y hábitos de riego actuales, es de 25.21 hm³año⁻¹ y bajo los mismos sistemas de riego y manejados adecuadamente la extracción neta disminuiría a solo unos 24.53 hm³año⁻¹. Dicha opción aumentaría la eficiencia global de distribución hasta 72%, generando un retorno de agua de riego por percolación profunda de aproximadamente 14%.

Cuadro No. IX.1 Comparación entre sistemas de riego actuales y bajo manejo adecuado

| Cultivo | Situación Actual | | | | | Situación con Proyecto | | | |
|--------------------------|------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--|
| | Área (ha) | Lam. Bruta cm | Vol. Bruto hm ³ | Ret. Riego hm ³ | Vol. Extra. Neta hm ³ | Lam. Bruta cm | Vol. Bruto hm ³ | Retor. Riego hm ³ | Vol. Extra. Neta hm ³ |
| PRIMAVERA-VERANO | | | | | | | | | |
| Maíz Forrajero en Verde | 919 | 50.00 | 4595 | 712 | 3883 | 49.21 | 4522 | 633 | 3889 |
| Maíz Grano | 382 | 60.00 | 2292 | 355 | 1937 | 55.97 | 2138 | 299 | 1839 |
| Suma | 1,301 | | 6887 | 1067 | 5820 | | 6660 | 932 | 5728 |
| OTOÑO-INVIERNO | | | | | | | | | |
| Avena Forrajera en Verde | 195 | 80.00 | 1556 | 241 | 1315 | 71.89 | 1398 | 196 | 1202 |
| Cebada de Grano | 52 | 80.00 | 412 | 64 | 348 | 71.89 | 370 | 52 | 318 |
| Rye Grass | 74 | 100.00 | 735 | 114 | 621 | 152.79 | 1123 | 157 | 966 |
| Trigo Forrajero en Verde | 26 | 70.00 | 179 | 28 | 151 | 88.61 | 226 | 32 | 194 |
| Trigo Grano | 2 | 90.00 | 18 | 3 | 15 | 101.39 | 20 | 3 | 17 |
| Triticale Forrajero | 27 | 90.00 | 243 | 38 | 205 | 88.61 | 239 | 33 | 206 |
| Suma | 374 | | 3143 | 487 | 2655 | | 3377 | 473 | 2904 |
| PERENNES | | | | | | | | | |
| Alfalfa Verde | 1,100 | 180.00 | 19800 | 3069 | 16731 | 168.10 | 18491 | 2589 | 15902 |
| Suma | 1,100 | | 19800 | 3069 | 16731 | | 18491 | 2589 | 15902 |
| TOTAL | 2,775 | | 29830 | 4624 | 25206 | | 28528 | 3994 | 24534 |

Otra opción importante para estabilizar el acuífero, es utilizar otros tipos de sistemas de riego presurizados que se ajusten al patrón de cultivos y a la situación económica que tienen los usuarios. Dicha alternativa sería la combinación proporcional y adecuada con base al patrón de cultivos de los sistemas de compuertas existentes con sistemas de side-roll. Esta combinación de sistemas de riego disminuiría la pérdidas de agua a 11%, con una manejo adecuado; además alcanzarían eficiencias globales de hasta 78%. Por lo que generarían un retorno de agua de riego por percolación profunda de aproximadamente un 11%.

En este contexto, se realizó un análisis, suponiendo que la superficie se mantiene igual a la actual y se utilizan sistemas de riego por compuertas y por side-roll. Ver Cuadro IX.2.

El Cuadro IX.2, muestra que la extracción neta, bajo los sistemas y hábitos de riego actuales, es de 25.21 hm³año⁻¹ y bajo los nuevos sistemas de riego y manejados adecuadamente la extracción neta disminuiría a solo unos 23.40 hm³año⁻¹. Esto alternativa ayudaría al minado del acuífero, aunque no se eliminaría totalmente. En el cuadro IX.3 se hace un resumen del balance hídrico del uso agrícola.

En el Cuadro IX.3, se muestran las cantidades de los componentes del balance hídrico del uso agrícola, igualmente muestra que el minado que es de ¿??? sólo disminuiría a ¿????? .

Cuadro 7.6. Comparación entre sistemas de riego actuales y bajo uso eficiente

| Cultivo | Situación Actual | | | | | Situación con Proyecto | | | | |
|--------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| | Área (ha) | Lam. Bruta (cm) | Vol. Bruto hm ³ | Ret. Riego hm ³ | Vol. Extr. Neta hm ³ | Lam. Bruta (cm) | Vol. Bruto hm ³ | Ret. Riego hm ³ | Vol. Extr. Neta hm ³ | Sistema de riego |
| PRIMAVERA-VERANO | | | | | | | | | | |
| Maíz Forrajero en Verde | 919 | 50.00 | 4595 | 712 | 3883 | 49.73 | 4570 | 663 | 3907 | Compuertas |
| Maíz Grano | 382 | 60.00 | 2292 | 355 | 1937 | 56.56 | 2161 | 313 | 1847 | Compuertas |
| | 1,301 | | 6887 | 1067 | 5820 | | 6730 | 976 | 5755 | |
| OTOÑO-INVIERNO | | | | | | | | | | |
| Avena Forrajera en Verde | 195 | 80.00 | 1556 | 241 | 1315 | 64.10 | 1247 | 118 | 1128 | Side-Roll |
| Cebada de Grano | 52 | 80.00 | 412 | 64 | 348 | 64.10 | 330 | 31 | 299 | Side-Roll |
| Rye Grass | 74 | 100.00 | 735 | 114 | 621 | 136.24 | 1001 | 95 | 906 | Side-Roll |
| Trigo Forrajero en Verde | 26 | 70.00 | 178.5 | 28 | 151 | 79.01 | 201 | 19 | 182 | Side-Roll |
| Trigo Grano | 2 | 90.00 | 18 | 3 | 15 | 90.40 | 18 | 2 | 16 | Side-Roll |
| Triticale Forrajero | 27 | 90.00 | 243 | 38 | 205 | 79.01 | 213 | 20 | 193 | Side-Roll |
| | 374 | | 3143 | 487 | 2655 | | 3011 | 286 | 2725 | |
| PERENNES | | | | | | | | | | |
| Alfalfa Verde | 1,100 | 180.00 | 19800 | 3069 | 16731 | 149.88 | 16487 | 1566 | 14921 | Side-Roll |
| | 1,100 | | 19800 | 3069 | 16731 | | 16487 | 1566 | 14921 | |
| TOTAL | 2,775 | | 29,830 | 4,624 | 25,206 | | 26,229 | 2,828 | 23,400 | |

Sin embargo, una reconversión de cultivos es necesaria para permitir a los agricultores por lo menos un valor igual al de producción en condiciones actuales y a la vez que se ajuste la extracción neta del acuífero a unos 150 hm³año⁻¹.

Bajo los supuestos anteriores, se logra uno de los objetivos planteados en el taller de participación participativa, consistente en disminuir la extracción. Además de que sería un buen negocio para los agricultores, según se demuestra en los análisis de finca que se presentan en el cuadro 7.6.

Una estimación del balance hídrico agronómico se muestra en el cuadro 7.6, la extracción bruta disminuiría un 34 %, porcentaje que disminuirían los costos de extracción del agua, sin embargo, la sobreexplotación se baja solo en un 20 %.

Adicionalmente se realizaron algunos análisis de finca, para mostrar la conveniencia del uso de sistemas de riego más eficientes, mismos que en el cuadro 7.7 se muestran algunos indicadores de los modelos de finca analizado.

Cuadro 7.6. Balance hídrico bajo condiciones actuales y de proyecto en el sector agrícola ($\text{hm}^3\text{año}^{-1}$).

| Componentes | Actual | Proyecto |
|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Retorno de riego | 62.5 | 9.2 |
| Evapotranspiración benéfica | 171.3 | 171.3 |
| Evapotranspiración no benéfica | 44.2 | 3.0 |
| Extracción bruta | 278.0 | 183.5 |
| Extracción neta | 215.5 | 177.3 |
| Recarga natural | 103.3 | 103.3 |
| Retorno de riego agua superficial | 62.0 | 62.0 |
| Minado | -119.6 | -95.4 |

La condición anterior trajo consigo una disminución sustancial en la extracción bruta del agua subterránea, que indudablemente bajó los costos de bombeo en casi un 34 %, pero el minado del acuífero prácticamente se conservó constante, ya que bajó solo 20 % respecto al actual, según se muestra en el cuadro 9.1.

Cuadro 9.1. Balance hídrico bajo condiciones actuales y de proyecto en el sector agrícola ($\text{hm}^3/\text{año}$).

| Componentes | Actual | Proyecto |
|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Retorno de riego | 62.5 | 9.2 |
| Evapotranspiración benéfica | 171.3 | 171.3 |
| Evapotranspiración no benéfica | 44.2 | 3.0 |
| Extracción bruta | 278.0 | 183.5 |
| Extracción neta | 215.5 | 177.3 |
| Recarga natural | 103.3 | 103.3 |
| Retorno de riego agua superficial | 62.0 | 62.0 |
| Minado | -119.6 | -95.4 |
| Superficie ha | 26,694 | 26,694 |

El balance anterior se estimó de acuerdo al mismo plan de cultivos actual como proyecto, pero donde se proponen sistemas de riego presurizado.

La situación mostrada en el cuadro 9.1 se ha sido simulado, denominado máxima tecnificación, en donde se consideran los demás usos, tal como se muestra en el cuadro 9.3.

Cuadro 9.3. Funcionamiento del acuífero bajo condiciones actuales y de proyecto.

| Concepto | Actual | Proyecto |
|--|--------------|-------------|
| P.U. Agua subterránea (hm ³ /año) | 62.5 | 61.4 |
| Agrícola agua subterránea (hm ³ /año) | 278.0 | 183.5 |
| Pecuario (hm ³ /año) | 4.2 | 4.2 |
| Industrial (hm ³ /año) | 1.5 | 1.8 |
| Extracción bruta | 346.2 | 250.9 |
| | | |
| Retorno total | 80.2 | 12.5 |
| Extracción neta | 266.0 | 238.4 |
| Recarga natural | 103.3 | 103.3 |
| Recarga riego agua superficial | 62.0 | 62.0 |
| Salidas horizontales | 19.0 | 19.0 |
| | | |
| Minado | 119.7 | 92.1 |

Además, cabe mencionar que de acuerdo al análisis de rendimientos y precios (Figuras VII.2, 3, 4 y 5) en los últimos 20 años de los cultivos que se siembra en el acuífero, indica que los forrajes actualmente tienen una mejor perspectiva que los cultivos para grano, esto podría tomarse en cuenta para tratar de hacer una reconversión de cultivos. Sin embargo, es importante hacer notar que dicha reconversión debe de hacerse bajo un estricto análisis económico y que se ajuste a la extracción neta del acuífero.

*****DOCTOR RUBIÑOS HASTA AQUÍ VOY*****

NOTA: TODO LO DE AMARILLO SON LAS PROPUESTAS, PERO FALTA AFINARLAS.

Ante esta situación se realizó un ejercicio para disminuir la extracción neta a un valor muy aproximado al que se requiere para lograr una estabilización del acuífero. El ejercicio se realizó mediante programación lineal, al suponer como función objetivo, el maximizar el valor de la utilidad neta de los agricultores, bajo las restricciones que implican que la superficie de las hortalizas no debe ser mayor que 2.5 veces la superficie actual, esto con el fin de no saturar el mercado. La superficie total del nuevo patrón de cultivos debe ser como máximo igual a la de la superficie actual y la superficie del maíz se hizo variar de 1,000 a 5,000 ha.

Cuadro IX.4. Reconversión de cultivos con ajuste a extracción neta.

| | Situación actual | Situación de proyecto | | | |
|--|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------|
| | | Maíz < 5000 ha | Maíz < 2,500 ha | Maíz < 1,000 ha | Libre |
| Superficie (ha) | 26,694 | 13,784 | 15,884 | 16,161 | 17,622 |
| Extracción bruta (hm ³ /año) | 278 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| Goteo (ha) | | 8,284 | 12,884 | 14,661 | 17,622 |
| Extracción bruta (hm ³ /año) | | 40 | 59 | 70 | 83 |
| Beneficio neto TA (millones de pesos /año) | | 586 | 757 | 824 | 841 |
| Pivote central (ha) | | 5,500 | 3,000 | 1,500 | 0 |
| Extracción bruta (hm ³ /año) | | 43 | 24 | 12 | 0 |
| Beneficio neto TA (millones de pesos /año) | | 40 | 22 | 25 | 0 |
| Inversión (millones de pesos) | | 312 | 392 | 413 | 466 |
| Beneficio neto TA (millones de pesos /año) | 220 | 626 | 779 | 835 | 841 |
| Beneficio neto TSIN (millones de pesos /año) | 133 | | | | |
| Maíz grano (ha) | 10,340 | 5,000 | 2,500 | 1,000 | 0 |
| Maíz forrajero (ha) | 524 | | | | 87 |
| Alfalfa (ha) | 5,580 | 500 | 500 | 500 | 0 |
| Maíz grano (ton) | 45,496 | 35,000 | 17,500 | 7,000 | 0 |
| Maíz forrajero (ton) | 39,090 | | | | 9,614 |
| Alfalfa (ton) | 421,848 | 60,000 | 60,000 | 60,000 | 0 |
| <hr/> | | | | | |
| Beneficio \$/ha | 8,230 | 45,415 | 49,018 | 51,669 | 47,724 |
| Beneficio \$/m ³ | 0.79 | 7.57 | 9.41 | 10.09 | 10.13 |

Los resultados que se muestran en el cuadro 9.4, indican una gran reducción de superficie en el maíz. La superficie de la alfalfa se situó en el mínimo requerido por la restricción de 500 ha, las hortalizas aumentaron su superficie de manera proporcional y la superficie de frijol disminuyó ligeramente. La superficie total sembrada disminuye prácticamente al 50 % de la actual, y la extracción bruta a unos 80 hm³/año, valor muy cercano al equilibrio del acuífero.

Aunque el costo de inversión de los sistemas de riego varía en función de la forma del terreno, topografía, tipo de suelo, calidad del agua, etc., es posible suponer un costo promedio por hectárea de acuerdo al sistema propuesto. Con el fin de estimar las necesidades financieras de la instrumentación de esta estrategia, se propuso un sistema de riego por tipo de cultivo, al que se asignó un costo promedio de inversión por hectárea, para el caso de goteo \$26,452.00/ha y en el caso de pivote central \$16,950.00/ha. De esta manera la inversión total sería del orden de 400 a 450 millones de pesos, y en todos los casos la extracción de agua subterránea será del orden de 80 hm³/año.

El ahorro por concepto de energía eléctrica se puede calcular a partir de la diferencia de volúmenes de extracción, con un valor de \$0.24/m³, compuesto por \$0.10/m³ y de costos fijos y \$0.13/m³ de costos variables. La diferencia de volúmenes de la situación actual y con proyecto es de 198 hm³, que multiplicados por el costo de extracción resulta en un ahorro de

unos 48 millones de pesos al año. Lo anterior implica que la inversión total se pagaría en menos de 10 años, con sólo este concepto.

En caso de considerar la tarifa 09, sin el subsidio que actualmente le aplica el gobierno federal, el costo de extracción sería de \$0.46/m³ y el ahorro anual por concepto de extracción ascendería a 91 millones de pesos. Esto implicaría que el subsidio a la energía eléctrica disminuiría en unos 43 millones de pesos anuales.

La opción de manejo en la realidad es mucho más complejo, debido principalmente al problema de mercados y disminución de precios, como tendencias generales en los últimos años. Por lo tanto, la estrategia deberá ir más allá de este análisis, considerando inicialmente una adaptación a las demandas del mercado, como dirección principal para un cambio en el plan de cultivos.

Las estrategias para la modernización del sector agrícola deberán contemplar, en primer lugar, los mercados y sus precios, debiendo ir no solo en el mercado nacional sino también en el internacional. Seleccionando aquellos productos donde la región tiene ventajas sobre otras zonas de producción.

Lo anterior requerirá indiscutiblemente un programa de integración de los productos, desde una organización para buscar mercados y mejores precios en los insumos y hasta la selección, empaque y transporte, y en algunos casos buscar además una integración hacia la agroindustria.

En la preparación de esta estrategia, el COTAS deberá jugar un papel primordial en la información básica de insumos y productos, incluyendo en esta estrategia el apoyo técnico especializado en todas las partes de la cadena productiva.

Un análisis adicional consiste en proponer la estabilización del acuífero en un lapso de 20 años, lo que significa llegar al año 2025 con el acuífero sin minado. A manera también de ejercicio se analizó el supuesto de que el agricultor por lo menos conserve su ingreso actual. En este sentido y a partir de los modelos de finca analizados se obtuvo el volumen de extracción mínimo requerido para lograr esta condición de ingreso mínimo económico del agricultor.

En los modelos de finca, se pudo observar que los planteamientos cumplen con los objetivos de lograr un mayor ingreso para los productores, con una menor extracción de agua del acuífero. En el cuadro 9.5, la hilera correspondiente a la superficie con VPN (Valor de Producción Neto) igual al actual, muestra la superficie equivalente del cultivo con el que se obtendría un VPN igual a la condición sin proyecto y la superficie del modelo (primera hilera). Por ejemplo, para el caso del maíz con una superficie de 25 hectáreas en el modelo de finca, si se presuriza con pivote central LEPA, con sólo 1.5 ha se obtendría igual VPN. Para el mismo cultivo, las 25 hectáreas sin proyecto consumen un volumen de 296.3 millares de metros cúbicos, si se presuriza, este volumen disminuye a 192.5 millares de m³, mientras que con la superficie equivalente a un VPN igual al actual, el volumen es de sólo 11.6 millares de m³.

Cuadro 9.5. Resumen de los modelos de finca.

| Cultivo | Unidad | Maíz | Alfalfa | Fríjol | Tomate verde | Lechuga | Col | Zanahoria |
|---|---------------------------------|-------------|-----------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Superficie del modelo | ha | 25 | 25 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Monto de la inversión | \$/ha | 16,950 | 16,950 | 26,452 | 26,452 | 26,452 | 26,452 | 26,452 |
| Rendimiento actual | Ton/ha | 4.4 | 75.5 | 1.0 | 9.1 | 23.7 | 39.7 | 30.2 |
| Rendimiento Proyecto | Ton/ha | 7.0 | 120.0 | 2.0 | 17.0 | 35.0 | 60.0 | 45.0 |
| Costo de cultivo actual | \$/ha | 7,850 | 14,253 | 6,106 | 12,042 | 13,391 | 16,709 | 15,298 |
| Costo de cultivo proyecto | \$/ha | 6,903 | 13,365 | 5,453 | 12,038 | 12,995 | 16,173 | 14,523 |
| Precio medio rural | \$/Ton | 2,000 | 184 | 7,088 | 3,692 | 1,423 | 824 | 1,588 |
| Lámina actual | cm | 118.5 | 135.4 | 56.9 | 69.2 | 100 | 53.8 | 92.3 |
| Lámina con proyecto | cm | 77.0 | 93.0 | 37.0 | 45.0 | 65.0 | 35.0 | 60.0 |
| TIR actual | % | 2.9% | -0.9% | 5.0% | 115.0% | 108.4% | 85.3% | 174.1% |
| VPN actual | \$ | 90,126 | -310,190 | 37,118 | 1,334,366 | 1,257,311 | 984,081 | 2,033,748 |
| B/C actual | adim. | 1.03 | 0.94 | 1.08 | 2.57 | 2.34 | 1.86 | 2.92 |
| TIR con proyecto | % | 17.5% | 20.4% | 18.7% | 211.6% | 147.7% | 131.5% | 240.0% |
| VPN con proyecto | \$ | 1,501,758 | 1,907,082 | 230,379 | 2,878,909 | 2,001,341 | 1,777,395 | 3,269,341 |
| B/C con proyecto | adim. | 1.38 | 1.31 | 1.27 | 3.25 | 2.49 | 2.15 | 3.28 |
| Superficie con VPN igual al actual | ha | 1.50 | - | 0.81 | 2.32 | 3.14 | 2.77 | 3.11 |
| Volumen actual en finca | m ³ *10 ³ | 296.3 | 338.5 | 28.5 | 34.6 | 50.0 | 26.9 | 46.2 |
| Volumen proyecto en finca | m ³ *10 ³ | 192.5 | 232.5 | 18.5 | 22.5 | 32.5 | 17.5 | 30.0 |
| Volumen con igual VPN al actual | m ³ *10 ³ | 11.6 | - | 3.0 | 10.4 | 20.4 | 9.7 | 18.7 |

IX.1.2 Sector público urbano

El cálculo de la demanda para uso público urbano en la zona del acuífero Valle de Acámbaro, se realizó considerando para el uso residencial dos niveles, medio y alto, definiendo el límite entre los dos estratos de menos y más de dos salarios mínimos.

Las dotaciones promedio para los dos estratos se muestran en la el cuadro 9.6, además de una estimación de lo que sería el uso eficiente intradomiciliario.

Con los datos anteriores y la población dividida en ambos estratos se calculó la demanda para este uso en la zona de Acámbaro y para los demás municipios que integran el Valle. De esta forma el caudal requerido para este uso resultó de 0.880 l/s (27.7 hm³/año). Respecto a los niveles de consumo resultó ser el 83 % de nivel medio (521,447 habitantes y el 17 % restante de nivel bajo (103,746 habitantes), de la población total calculada para el año 2002 de 625,193 habitantes.

Cuadro 9.6. Dotaciones para el uso residencial (l/hab/día).

| Uso intradomiciliario/estrato | Medio | Bajo | Medio | Bajo |
|-------------------------------|------------|------------|---------------|------------|
| | Uso actual | | Uso eficiente | |
| Retrete | 65 | 40 | 35 | 35 |
| Baño | 72 | 44 | 72 | 44 |
| Otros | 14 | 9 | 14 | 9 |
| Cocina | 7 | 4 | 7 | 4 |
| Lavado de ropa | 22 | 13 | 22 | 13 |
| TOTAL | 180 | 110 | 150 | 105 |

Por lo que respecta a los usos industrial, comercial y de servicios, se tienen en la zona de estudio 18,656 usuarios, que usan del orden de 1.6 m³/día, lo que da una dotación total de 345 l/s (10.9 hm³/año). Finalmente, las fugas en la red y tomas domiciliarias se estimaron en un 35 %. Por lo tanto la dotación total para este sector, actualmente es de 1.9 l/s (59.8 hm³/año).

Cuadro 9.7. Resumen de dotaciones actuales.

| U S O | Dotación l/s | Dotación hm ³ /año | Dotación media l/hab/día | Porcentaje % |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Doméstico | 880 | 27.7 | 122 | 47 |
| Industrial comercial y servicios | 345 | 10.9 | 48 | 18 |
| Fugas | 672 | 21.2 | 92 | 35 |
| T O T A L | 1,897 | 49.8 | 262 | 100 |

IX.1.3 Proyección de la demanda

Bajo las condiciones de crecimiento actual de la población en la región, obtenidos a partir de los censos de población y las demandas de agua, la dotación total en el año 2025 serán del orden de 2.5 m³/s (80 hm³/año).

En resumen, el cálculo de la demanda actual, se obtuvo de acuerdo a las siguientes consideraciones:

Los consumos domésticos según los niveles socioeconómicos considerados fueron para el bajo (83 % de la población) una dotación de 110 l/hab/día, para el medio (17%) una dotación de 180 l/hab/día y para el alto se desprecia este tipo de nivel en la región. En lo referente a los usuarios comerciales, industriales y de servicios se estimó que se tienen 18,925 consumidores menores, cuyo consumo unitario es de aproximadamente de 1.6 m³/s, resultando un caudal de 345 l/s. Finalmente las fugas consideradas fueron del 35% (672 l/s) por lo que el caudal total calculado fue de 1,897 l/s, para el año 2002.

Cuadro 9.8 Proyección de la demanda para uso público urbano

| Año | 2002 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l/s | 1,897 | 1,972 | 2,114 | 2,255 | 2,406 | 2,541 |
| hm ³ /año | 59.8 | 62.1 | 66.6 | 71.0 | 75.8 | 80.0 |
| Población | 625,193 | 653,751 | 700,813 | 747,566 | 797,437 | 842,272 |

Además, de manera comparativa se han planteado acciones que permitan disminuir la demanda y evitar los consumos excesivos e innecesarios del vital líquido en la región en estudio.

Por tal motivo, es conveniente realizar acciones relacionadas con el uso eficiente del agua en este sector, para lo cual se plantea entre otros las siguientes acciones:

- Utilizar al máximo los caudales de abastecimiento.
- Mejorar la administración de los servicios de agua potable.
- Reglamentar la prestación de los servicios de agua, penalizando el desperdicio.
- Crear conciencia en los usuarios para que contribuyan al ahorro del agua.
- Reducir los consumos de agua en los muebles y accesorios hidráulicos intradomiciliarios.
- Revisión de ciclos de lavado en lavadoras y mejora de detergentes biodegradables para disminuir el consumo de agua y utilizar dicho líquido en otros usos domésticos.
- Realizar un programa de detección y reparación de fugas no visibles y su propuesta de rehabilitación de redes de distribución.

Además, otras actividades que pueden disminuir las dotaciones al instalar medidores intradomiciliarios en la totalidad de los usuarios. El incremento de las tarifas de agua potable, el uso del agua residual tratada y la instalación de muebles y accesorios de bajo consumo en industrias, comercios, oficinas, casas-habitación y departamentos.

Para complementar los anterior, es recomendable buscar un procedimiento expedito para que el usuario sea capaz de instalar sus muebles y accesorios con incentivos respectivos en el cobro de su consumo de agua potable.

La proyección de la demanda afectada por el programa de uso eficiente del agua se basó en disminuir de manera inmediata el consumo ocasionado por el uso del retrete de 16 l/descarga a uno de 6 l/descarga.

Además de sustituir del orden de 35,600 de retretes de 16 litros a 6 litros por descarga se podría lograr un ahorro aproximado de 96 l/s (35,600 retretes x 10 litros por descarga x 5 descargas x 5 personas x 0.80 / 86400 = 82 l/s).

Tomando como base los anteriores datos, es posible programar un total 210,000 sustituciones de muebles en un año, lo que significa ahorrar un total de aproximadamente 89 l/ de manera casi inmediata por este concepto.

Las etapas de proyección de la demanda afectadas por acciones, que disminuyen los requerimientos de agua potable de la población, fue analizada mediante las proyección de la alternativa siguientes:

En una de ellas se consideró que se tendría una reducción en la demanda por llevar a cabo el programa de uso eficiente del agua.

Una acción adicional consiste en la disminución de fugas en las redes y tomas domiciliarias, desde el 35 % actual hasta llegar paulatinamente al 20 % en el 2025.

Los resultados se muestran en el cuadro 9.9, asimismo, en la Figura 9.1 se muestra la comparación de la demanda de agua para uso público urbano bajo las dos condiciones expuestas, actuales de hábito de uso y bajo el programa expuesto de uso eficiente. Conviene aclarar que en el programa de ahorro participarían tanto los organismos operadores de los servicios y los propios usuarios.

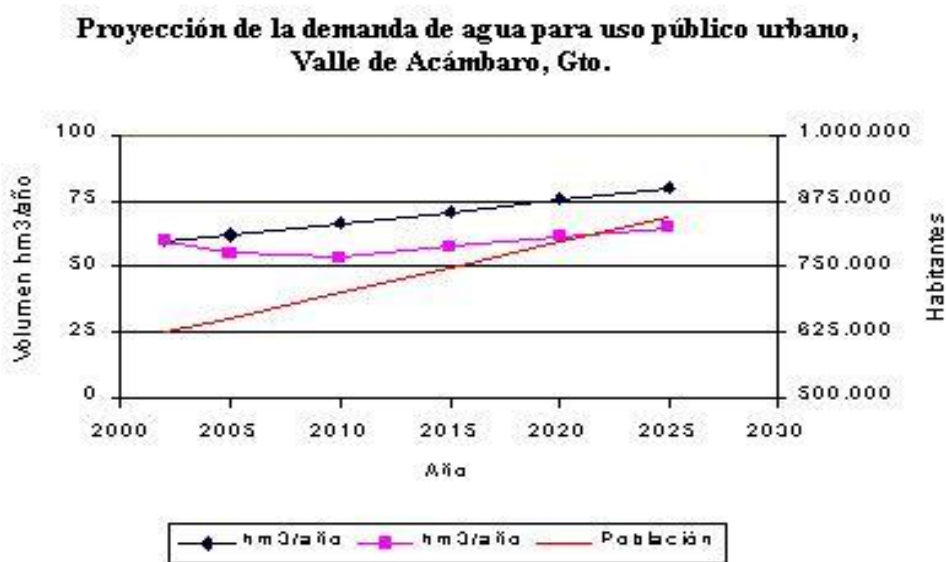


Figura 9.1. Demanda actual y futura de agua para uso público urbano.

Cuadro 9.9. Proyección de la demanda para uso público urbano, bajo condiciones de uso eficiente.

| Año | 2002 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| l/s | 1,897 | 1,748 | 1,712 | 1,827 | 1,948 | 2,058 |
| hm³/año | 59.8 | 55.1 | 53.9 | 57.6 | 61.4 | 64.8 |
| Población | 625,193 | 653,751 | 700,813 | 747,566 | 797,437 | 842,272 |

Una estimación de los costos se presenta en la Figura 9.2, cuyo valor actualizado al 12 % anual resulta de 251 millones de pesos, que considerado a lo largo del horizonte económico entre el año 2003 y 2025, resulta un pago anual de unos 30 millones de pesos a la misma tasa de descuento del 12 %.

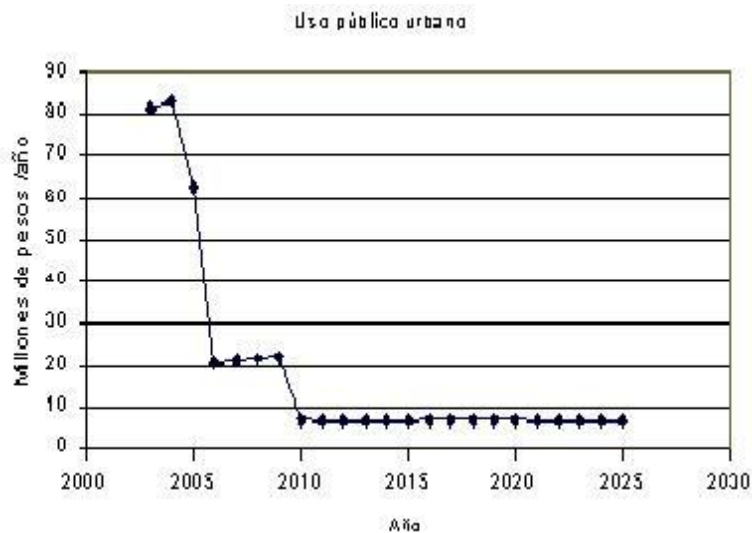


Figura 9.2. Costo del uso eficiente en el uso público urbano.

IX.1.4 Otros usos

Respecto al uso industrial y pecuario, aunque resulta minoritario en la zona, respecto a los dos antes expuestos ya que apenas representan un poco menos del 2 % del total, se deberán implantar uso eficientes. Por lo que respecta al uso industrial, el propio pago de derechos hace que este sector sea de por sí eficiente, la zona se ha definido como de disponibilidad 4, lo que implica un pago de \$7.00/m³.

Respecto al uso pecuario y doméstico en zonas rurales es importante implantar acciones que mejoren su uso, aunque estos sectores representan una ínfima parte en el uso actual.

IX.1.5 Intercambio y reuso del agua

De acuerdo con los informes en la zona, no existen plantas de tratamiento de aguas residuales en los centros urbanos. Se estima que esta agua alcanzan un volumen actual de unos 30 hm³/año, de este volumen es factible tratar y utilizar en actividades agrícolas y algunos servicios de las propias poblaciones, por lo menos un 50 % de este volumen, considerando los principales centros urbanos. Volumen que puede incrementar la disponibilidad para el uso agrícola, desde luego con los requerimientos administrativos por parte de CNA, en cuanto a su regulación de concesiones y derechos adquiridos.

Por de pronto es difícil pensar en un aprovechamiento pleno de las aguas superficiales, debido a su mala calidad, descargas de aguas residuales de la ciudad de Acámbaro principalmente. Sin embargo, es una posibilidad que se debe contemplar, por lo menos a largo plazo, ya que actualmente se inicia la construcción de plantas de tratamiento.

Actualmente esta agua se utilizan en el riego de básicamente forrajes y granos, en donde no existe restricción por parte de CNA en su calidad, pero si se considera su uso en

cultivos más redituables tendría que tener una calidad para cumplir las normas. En tal caso el tratamiento, tanto en la Zona del Acuífero del Valle de Acámbaro como en la ciudad de Acámbaro, las inversiones son cuantiosas y la operación también, una estimación del costo arroja cifras de unos \$4.00/m³.

De acuerdo con lo anterior, el costo del agua potable en los centros de población debería ser superior a ese valor, de tal manera de hacer atractivo el uso de las residuales tratadas, tanto en los mismos centros urbanos como en otro uso.

IX.1.6 Tarifas y valor del agua

Un aspecto interesante que debe contemplarse es el incremento de las tarifas en el uso del agua, como medida para disminuir la demanda. Se menciona en la Ley de Derechos, la gran diferencia entre el uso industrial (\$7.00/m³) y público urbano (\$0.25/m³), política que ha incrementado el uso eficiente, sobre todo en el sector industrial, lo que se ha reflejado a nivel nacional, que el incremento del costo del agua incrementa a su vez el uso eficiente y el cuidado de la misma.

Si a estos valores se le adicionan los costos de distribución y bombeo para los centros de población, la tarifa debe subir drásticamente, sobre todo en el uso público urbano, como una medida para sanear las finanzas de los organismos operadores y para disminuir su consumo. En este caso, los programas de ahorro de agua, mencionados anteriormente, deberán ser atractivos para el usuario, es decir, iniciar con programas de ahorro y posteriormente incrementar las tarifas, de tal manera que al usuario le salga más barato la instalación de dispositivos ahorradores que pagar el servicio.

Actualmente es difícil pensar en el sector agrícola, en la aplicación de incremento de derechos, pero lo mencionado anteriormente sobre la implementación de sistemas de riego eficientes, es bastante atractivo para los agricultores.

IX.1.6.1 Costos de extracción

El incremento de las tarifas va íntimamente ligado los costos de extracción del agua ante un abatimiento constante de los niveles. Para el uso agrícola se obtuvieron dos funciones para estimar el costo de extracción del agua, en una primera se aplica la tarifa media cobrada por la Comisión Federal de electricidad en el sector. Para el año de 2002, esta tarifa eléctrica resultó de \$0.32/kwh, mientras que una tarifa real estimada por la Comisión Federal de Electricidad es de \$0.86/kwh. Ahora bien, si se aplica a las condiciones medias de los pozos de Acámbaro, en costo por extracción resulta de \$0.24/m³ y de 0.46/m³, respectivamente. Para el cálculo anterior se consideró un caudal medio por pozo de 23 l/s, un nivel de bombeo de 61 m y una eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de 42 %. Para distintas profundidades del nivel dinámico este costo se puede calcular aplicando las expresiones que se muestra en el cuadro 9.10.

Cuadro 9.10. Costo de extracción del agua para uso agrícola.

| Costo fijo | Costo variable | Precio kwh |
|------------------|------------------|------------|
| 0.0007*ND+0.0597 | 0.0018*ND^1.0483 | \$0.32 |

| | | |
|--------------------|---------------------|--------|
| $0.0007*ND+0.0597$ | $0.0067*ND - 0.053$ | \$0.86 |
|--------------------|---------------------|--------|

IX.1.6.2 Costos de oportunidad

Una manera de estimar el costo de oportunidad, es a través del valor marginal del agua es a través del beneficio neto de los agricultores. Para valuar lo anterior se utilizó la metodología desarrollada por Palacios. E., de esta manera en la Figura 9.3 se muestra una gráfica de los beneficios netos del sector agrícola con relación al volumen usado. Posteriormente en la Figura 9.4, se muestra el valor marginal del agua, como la pendiente de la curva de la gráfica anterior. Todo lo anterior aplicando la tarifa pagada por los agricultores actualmente.

De la misma forma, pero ahora aplicando la tarifa real de la energía eléctrica, en las Figuras 9.5 y 9.6 se muestra el mismo análisis descrito en el párrafo anterior, para condiciones actuales de manejo. En ambos casos, existe cultivos que no son redituables, por lo que bajo condiciones actuales, el valor marginal del agua estrictamente hablando en este sector resulta nulo. Por otro lado, el valor marginal medio resulta de $\$0.79/m^3$ y de $0.49/m^3$, respectivamente para tarifa actual de energía eléctrica ($\$0.32/kwh$) y tarifa real ($\$0.86/kwh$).

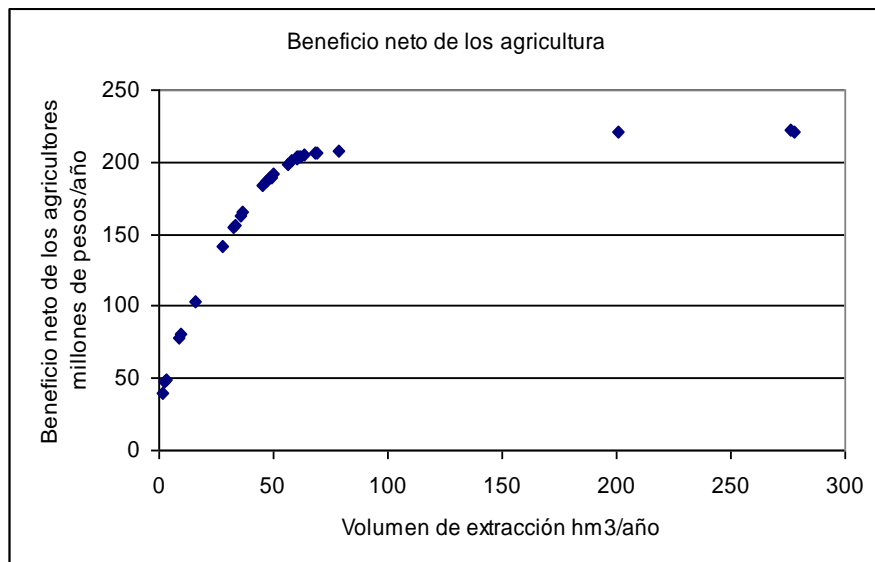


Figura 9.3. Relación volumen beneficio neto de los agricultores, considerando la tarifa actual de energía eléctrica.

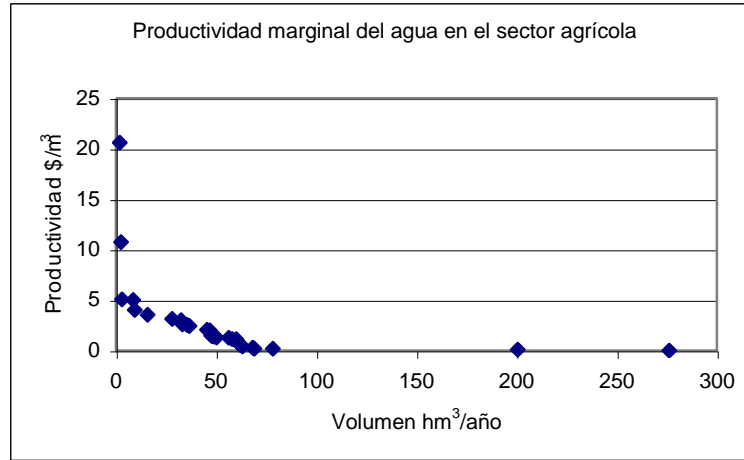


Figura 9.4. Valor marginal del agua en el sector agrícola, considerando la tarifa actual de energía eléctrica.

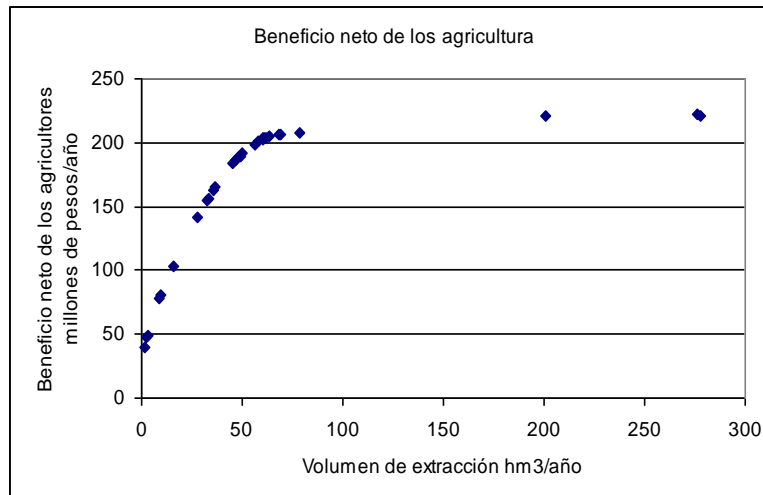


Figura 9.5. Relación volumen beneficio neto de los agricultores, considerando la tarifa real de energía eléctrica.

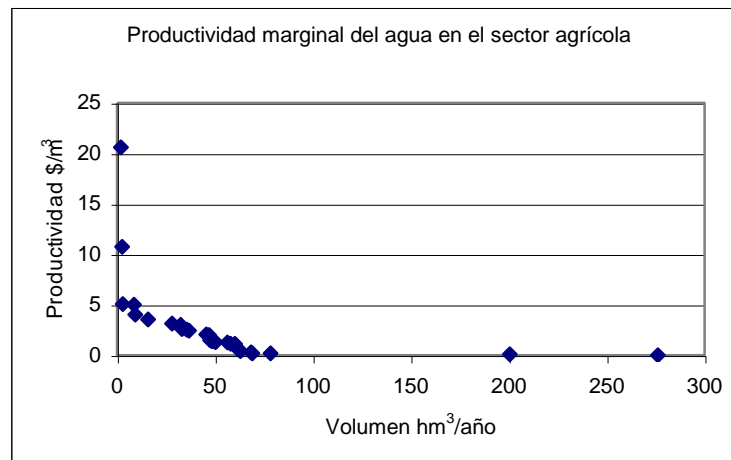


Figura 9.6. Valor marginal del agua en el sector agrícola, considerando la tarifa real de energía eléctrica.

IX.1.6.3 Costos por agotamiento

El proceso de agotamiento del recurso hídrico en la región de Acámbaro ha provocado a través del tiempo una serie de efectos ambientales, lo que ha representado un costo reflejado en el ambiente como de agotamiento. Estos efectos se manifiestan en varias formas, desde problemas de calidad hasta simplemente el acotamiento de la vida útil de las captaciones.

Se ha estimado que para el año 2002, un costo total de 33.8 millones de pesos que referidos al volumen bruto total de extracción (346.2 hm³/año), resulta un costo de \$0.098/m³. Este mismo valor se puede referir al minado (120 hm³/año), volumen que afecta directamente al medio ambiente, de esta forma el valor unitario resulta de \$0.24/m³.

IX.1.6.4 Valor de escasez

Según la Ley de Derechos para el uso del agua a la zona de Acámbaro le ha sido asignada como zona de disponibilidad 4, en donde la tarifa industrial es de \$7.00/m³, y en la de menor costo o asignación de derechos (Zona 9) el valor de los derechos es de \$1.00/m³. Por lo tanto el valor de escasez resultaría de unos \$6.00/m³, de acuerdo al criterio anterior.

IX.1.6.5 Costo del agua

Finalmente una estimación del costo del agua sería la suma de los factores anteriores, valores que se muestran en el siguiente cuadro, el valor mínimo que se puede estimar bajo esta metodología resultó de \$6.42/m³. Aunque con los valores medios del valor neto de ingreso a los agricultores, tomando además el valor real de la energía eléctrica y el valor de agotamiento referido al volumen minado, el valor resultó muy superior, del orden de \$7.9/m³. Tal como se muestra en el cuadro 9.11.

Cuadro 9.11. Estimación del valor del agua.

| | \$/m ³ | \$/m ³ |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| Costo de extracción | 0.32 | 0.86 |
| Costo de oportunidad | 0.00 | 0.79 -0.49 |
| Costo de agotamiento | 0.10 | 0.24 |
| Valor de escasez | 6.00 | |
| SUMA | 6.42 | |

IX.1.7 Políticas de ordenamiento territorial

Dentro de este rubro se trata un tema que se ha desarrollado sobre la ubicación de actividades productivas y no productivas, zonas con características de protección que pueden ser las que corresponden a la recarga del acuífero, aspectos que dan como resultado una serie de restricciones sobre el uso del suelo. En este apartado se dan algunas ideas al respecto, sin querer realmente llegar a un ordenamiento territorial.

IX.1.7.1 Zonas de protección

Dentro de la zona de estudio las zonas de recarga, que requieren ser protegidas, se pueden dividir en dos grupos principales, aquellas áreas que requerirán atención específica para su protección, por tratarse de zonas de recarga al acuífero, ubicadas en las partes Interserranas, en donde actualmente casi no existe vegetación.

Complementando lo anterior, existen áreas con vegetación, donde los programas deben enfocarse a su protección y conservación, mediante la implantación de forestación y/o conservación de la vegetación nativa y la agricultura de temporal.

Por lo tanto en estas zonas de protección deberán estar limitada la instalación de focos contaminantes, como pueden ser industrial con alto riesgo en esta problemática.

Lo anterior debe ser complementado con programas de conservación de suelos, mediante el establecimiento de vegetación que pueda desarrollarse con la precipitación natural, además con la finalidad de disminuir la velocidad de los vientos, por lo tanto la identificación anterior requiere de estudios más detallados.

IX.1.7.2 Uso de suelo

Íntimamente ligado a lo anterior, será el establecimiento del uso del suelo; la Comisión Nacional Forestal, contempla una serie de programas que cumplan con lo dicho anteriormente y con la implantación programas forestales que cumplan, además de lograr su preservación, logren un ingreso económico a sus pobladores y así garantizar la permanencia de los programas.

IX.1.7.3 Redistribución de la explotación del agua subterránea

Otro aspecto importante, dentro del análisis territorial, sería la redistribución del bombeo. De ante mano se sabe que las zonas pegadas a la ciudad de Acámbaro son las que tienen un minado mayor. Por lo tanto es deseable invertir esta situación, disminuyendo la extracción e las zonas mencionadas e incrementando en la parte del distrito de Riego.

Lo anterior parece difícil de realizar por las instalaciones requeridas en cada actividad, sin embargo sería una política deseable, desde luego a largo plazo, cuando se tenga un saneamiento de las aguas superficiales aguas arriba de la presa Solís, mediante la cual la permanencia del aprovechamiento de cada usuario tendría mayor garantía.

Aunado a lo anterior es la distribución de los cultivos básicos, con base en el costo del agua, esta recomendación se refiere básicamente a realizar estos cultivos en la parte del distrito de Riego y en la zona de temporal ubicadas en la parte norte del acuífero y dejar los cultivos altamente redituables a las zonas de bombeo.

IX.1.7.4 Selección de zonas para el manejo de sustancias contaminantes

Bajo las nuevas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales, las descargas de contaminantes están bastante controladas; sin embargo, se requiere seleccionar algunas áreas donde se instalen estas empresas, por el riesgo que conllevan. Las áreas podrían ubicarse en la parte sur del distrito de riego, ya a la salida de los flujos subterráneos.

IX.2 Análisis de alternativas de manejo de la disponibilidad

Por lo que respecta a la disponibilidad de las aguas superficiales, dependen básicamente de las descargas de aguas residuales de la ciudad de Acámbaro, por lo tanto será necesario esperar a tener una buena calidad del agua descargada, de tal manera de poder implantar cultivos más redituables, por lo pronto parece que la tendencia será hacia los forrajes y dejar los demás cultivos como las hortalizas a la irrigación con agua subterránea.

Respecto a las aguas subterráneas, es indispensable disminuir la extracción neta del acuífero, de tal manera de disminuir el minado, por lo tanto la implantación de altas tecnologías necesariamente traerían consigo una disminución de los volúmenes concesionados.

Respecto al incremento de la recarga natural, es indispensable la forestación de las partes altas, con el objetivo adicional de conservar los suelos, tal como se mencionó anteriormente, sin embargo este incremento es minoritario respecto a los volúmenes que se manejan actualmente. Por lo anteriormente expuesto existen pocas posibilidades de incrementar la oferta, si no es en base al manejo de la demanda.

IX.2.1 Tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales provenientes de los centros urbanos, es una política importante en este aspecto. El volumen utilizado en el uso público urbano es del orden de 30 hm³/año, de este volumen del orden de el 50 % descarga a arroyos o barrancas, por lo que es de esperarse que se pueda incrementar la disponibilidad en unos 10 a 15 hm³/año. Es posible que algo de estos volúmenes se estén utilizando en la actualidad, por lo que indispensable realizar el levantamiento de estos usuarios y establecer su estado legal, para determinar con precisión el incremento posible en la oferta a través de este concepto.

IX.2.2 Compra de derechos

Si fuera posible realizar una compra de derechos masiva sobre volúmenes a grupos o personas que estuvieran en posibilidades de abandonar un negocio que no fuera redituable para ellos, es posible hacer un banco de derechos de agua que pudiera estar en poder de algún fideicomiso para disminuir la extracción. Aunque bajo la nueva disposición de la CNA, en el sentido de que la disponibilidad actual es nula, es probable que se genere un mercado de derechos de agua y que estos tengan un gran valor.

IX.2.3 Transferencia de derechos

Esta acción mas que un manejo de la disponibilidad representa una obligación de cualquier nuevo usuarios en la zona, ya que de acuerdo con el decreto de disponibilidad, no existe volúmenes adicionales de agua subterránea. Por lo tanto, cualquier empresa o usuarios

nuevo del agua tiene que buscar esta transmisión y en consecuencia, comprar derechos sobre el uso del agua dentro de los límites del acuífero.

En ambos casos, la compra y la transferencia de derechos, es difícil estimar el valor del mercado de derechos en la zona, pero es posible que se incrementarán día a día, en otras zonas del país se habla de precios del orden de \$5.00/m³ a 10.00/m³, como pago único por la transmisión total del derecho.

IX.2.4 Fuentes externas

En principio parece muy difícil el pensar en transferencia de volúmenes de agua provenientes de otras cuencas, los acuíferos vecinos como son Pénjamo, Irapuato y Silao-Romita, por mencionar algunos, están sobreexplotados, al igual que Acámbaro.

IX.2.5 Recarga artificial

Una recarga artificial para incrementar la disponibilidad de los recursos hídricos, parece en principio una acción poco probable, debido a los pocos volúmenes sobrantes que pudieran destinarse a este efecto.

IX.2.6 Intercambio

Dentro del intercambio de aguas es necesario realizar las obras necesarias para recolectar las aguas residuales de los principales núcleos urbanos y proponer los proyectos y la construcción de plantas de tratamiento. De tal manera de poder lograr un intercambio entre pozos agrícolas por agua residual tratada.

Lo anterior daría como resultado una disminución en la extracción, debiendo darse mediante la conjunción de varios factores, el más importantes será la comprar de derechos y la organización de los agricultores a la salida de los colectores.

IX.2.7 Mezclas

Una política presentada en los términos de referencia, se refiere a mezclas de agua de distinta calidad, parece ser una actividad de menor importancia en la zona, ya que en general las aguas residuales están bien localizadas. En principio deberá pugnarse mas bien por un tratamiento adecuado aguas arriba del origen de las aguas superficiales. En el Distrito de Riego se dan en cierta manera la mezcla de aguas superficiales de mala calidad con las aguas subterráneas de buena calidad. Esta mezcla da por resultado un deterioro medioambiental y una serie de restricciones en el cultivo de explotaciones más rentables, por lo tanto, la exigencia del tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Acámbaro, deberá ser una actividad continua del COTAS.

IX.2.8 Desalinización

En general en la zona no existen aguas salinas, ni el acuífero presentó aguas de mala calidad, como para pensar en el tratamiento de esta agua.

IX.2.8 Uso conjunto

Como se ha mencionado anteriormente el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas es un tema por demás importante, que desde luego está sujeto al tratamiento de las primeras.

IX.2.9 Infiltración de escurrimientos extraordinarios no comprometidos

Actualmente existen, aunque en poca cantidad, escurrimientos extraordinarios que sería posible captar, lo anterior mas que una captación mediante almacenamientos o infiltraciones directas al acuífero se propone una forestación y/o conservación de las áreas de recarga para aminorar estas avenidas esporádicas que ocurren. El volumen total se estima en unos 10 hm³/año en total, por lo que a largo plazo podría pensarse en una retención de un 50 %.

IX.2.10 Recuperación de zonas de descarga

Como ya se mencionó anteriormente, la conservación y recuperación de zonas de recarga es una acción de primordial importancia. De acuerdo con las políticas expuestas anteriormente, es decir, seleccionando especies nativas pero con algún rendimiento económico en una explotación controlada.

IX.2.11 Control de migración de agua de mala calidad

No existen en la zona identificadas, hasta el momento, zonas con mala calidad, en donde la sobreexplotación cause una migración hacia sitios que puedan disminuir su calidad. A excepción hecha de la zona del Distrito de Riego, donde seguramente los acuíferos ya tienen algún tipo de contaminación. Por lo tanto, se propone nuevamente un tratamiento de esta agua, las que están dañando la calidad de las aguas subterráneas y aún las estructuras de la presa Solís y las obras complementarias.

IX.2.12 Control y preservación de contaminación atropogénica

A través de los análisis químicos no detectaron muestras de contaminación, aunque es por demás redistribuir la red de monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea, ya que la actual no es muy completa.

CAPÍTULO XI BALANCE INTEGRAL DEL AGUA

Como se ha mencionado el acuífero del Valle de Amazcala, está sujeto a una sobreexplotación, en el Cuadro XI.1 se muestran los valores del balance que arroja un minado en todo el acuífero de $15.72 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Cuadro XI.1. Balance de aguas subterráneas

| BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO VALLE DE AMAZCALA, QRO. | | | | 2003 | Salidas modelo |
|---|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Área total del acuífero | | | km ² | 608 | |
| Área total de balance | | | km ² | 577 | |
| RECARGA | | | | | |
| Recarga natural por lluvia valle | Área de valle | | km ² | 173 | |
| | Área zonas altas | | km ² | 404 | |
| | Coefficiente valle | I ₁ | | 0.07 | |
| | Precipitación | | mm/año | 530 | |
| | | | hm ³ /año | 6.0 | |
| Recarga natural por lluvia zonas altas | Coefficiente zonas altas | I ₁ | | 0.05 | |
| | | Eh | hm ³ /año | 11.1 | |
| Total de recarga natural | | | hm ³ /año | 17.09 | |
| Retorno del uso Público Urbano | Público Urbano | I ₂ | | 0.20 | |
| | | | hm ³ /año | 0.64 | |
| Retorno de riego, agua subterránea | Agrícola más otros agua subterránea | I ₃ | | 0.20 | |
| | | | hm ³ /año | 6.26 | |
| Retorno total | | | | 6.90 | |
| RECARGA TOTAL | | | Rt | hm ³ /año | 23.99 |
| DESCARGA | | | | | |
| Salidas horizontales | | | Sh | hm ³ /año | 0.00 |
| | Extracción total bruta | | | hm ³ /año | 39.71 |
| | | Agrícola | | hm ³ /año | 29.83 |
| | | Público urbano | | hm ³ /año | 3.20 |
| | | Industrial | | hm ³ /año | 0.50 |
| | | Otros | | hm ³ /año | 1.45 |
| | | Exportación a Querétaro | | hm ³ /año | 4.73 |
| DESCARGA TOTAL | | | | hm ³ /año | 39.71 |
| Minado | | | ΔA | hm ³ /año | -15.72 |
| Coeficiente de almacenamiento | | | S | | 0.06 |
| Volumen drenado (m/año) | | | Vd | hm ³ /año | 250.85 |
| Abatimiento m/año | | | | m | 1.45 |

El balance anterior fue realizado considerando retornos al acuífero por efecto de sobre riego y fugas en los sistemas de abasto a poblaciones. Se consideraron los coeficientes de recarga para ambos usos del 20%.

Los valores del balance descrito, se obtuvieron mediante un proceso iterativo con la calibración del modelo, de tal manera de lograr una calibración en el modelo de flujo adecuada y mostrada en el Cuadro XI.1. En la columna de la derecha se anotan los valores obtenidos de las salidas del modelo, valores que pueden compararse con los obtenidos en el Anexo 6 de este informe.

Por lo tanto, el balance fue obtenido a partir de prueba y error, de tal manera que los valores y los coeficientes de recarga utilizados en el modelo permitieran calibrar las extracciones y las configuración de elevaciones del nivel estático entre los valores reales y los obtenidos del modelo.

XI.1 Balance hídrico agronómico

En el Cuadro XI.2 se presenta el balance hídrico de la actividad agrícola, éste depende de los tipos de cultivos y a su vez de los sistemas de riego. Bajo la situación actual, el retorno de riego hacia el acuífero y la evapotranspiración no benéfica resultaron ambas de aproximadamente 16%, esto significa que cualquier mejora de los sistemas de riego disminuirá el retorno y en consecuencia incrementarían la extracción neta, la cual se estimó en 25.21 hm³/año.

Cuadro No. XI.2 Balance hídrico agronómico

| Balance hídrico/agronómico | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------|
| Componentes Superficiales | | hm³ |
| Precipitación efectiva | + | 7.49 |
| Entrada de escurrimientos | + | 0.00 |
| Salida de escurrimientos | - | 0.00 |
| Volumen bruto (bombeo) | + | 29.83 |
| Evapotranspiración benéfica | - | 20.58 |
| Evapotranspiración no benéfica | - | 4.63 |
| Infiltración por riego (bombeo) | - | 4.63 |
| Infiltración por riego (superficial) | - | 0.00 |
| Componentes Subterráneas | | hm³ |
| Infiltración por riego (bombeo) | + | 4.63 |
| Infiltración por riego (superficial) | + | 0.00 |
| Entrada de escurrimientos | + | 11.10 |
| Salida de escurrimientos | - | 0.00 |
| Volumen bruto (bombeo) | - | 29.83 |
| Minado | | -6.62 |

Cabe mencionar que el valor de retorno de riego se obtuvo de la Figura III.12 en el Capítulo III y el de la precipitación efectiva del Anexo 4 de los cálculos del uso consuntivo. Dichos valores son similares a los obtenidos en el balance integral, ver Cuadro XI.1.

XI.2 Balance por zonas de diferente intensidad de explotación

Las zonas con diferentes intensidades de explotación y recarga que se identificaron para general el modelo de simulación del Valle de Amazcala son:

Partes altas; en las que únicamente se considera entrada vertical debida a la precipitación pluvial con un valor de precipitación de 530 mm año⁻¹ y un coeficiente de infiltración de 5.4% (verde intenso).

Zona del Valle; no incluye zonas de bombeo, considera una recarga debida a la precipitación pluvial con el mismo valor de 530 mm año-1 y un coeficiente de infiltración de 6% (azul rey)

Zona de recarga de uso publico urbano; en esta zona se consideró el volumen de extracción reportado por el censo para uso publico urbano y un coeficiente de retorno por fugas en el sistema de 20% (verde azul)

Zonas de riego subterráneo; para esta zona se considero el volumen total destinado a uso agrícola (proveniente de riego subterráneo) y se aplico un coeficiente de infiltración (percolación) de 25%.

En la Figura XI.1 se presenta la distribución espacial de las diferentes zonas de explotación y recarga simuladas en el modelo del acuífero Valle de Amazcala, así mismo en el Cuadro XI.1 se presenta el balance numérico que se utilizará como base para incorporar los valores de recarga al modelo mencionado.

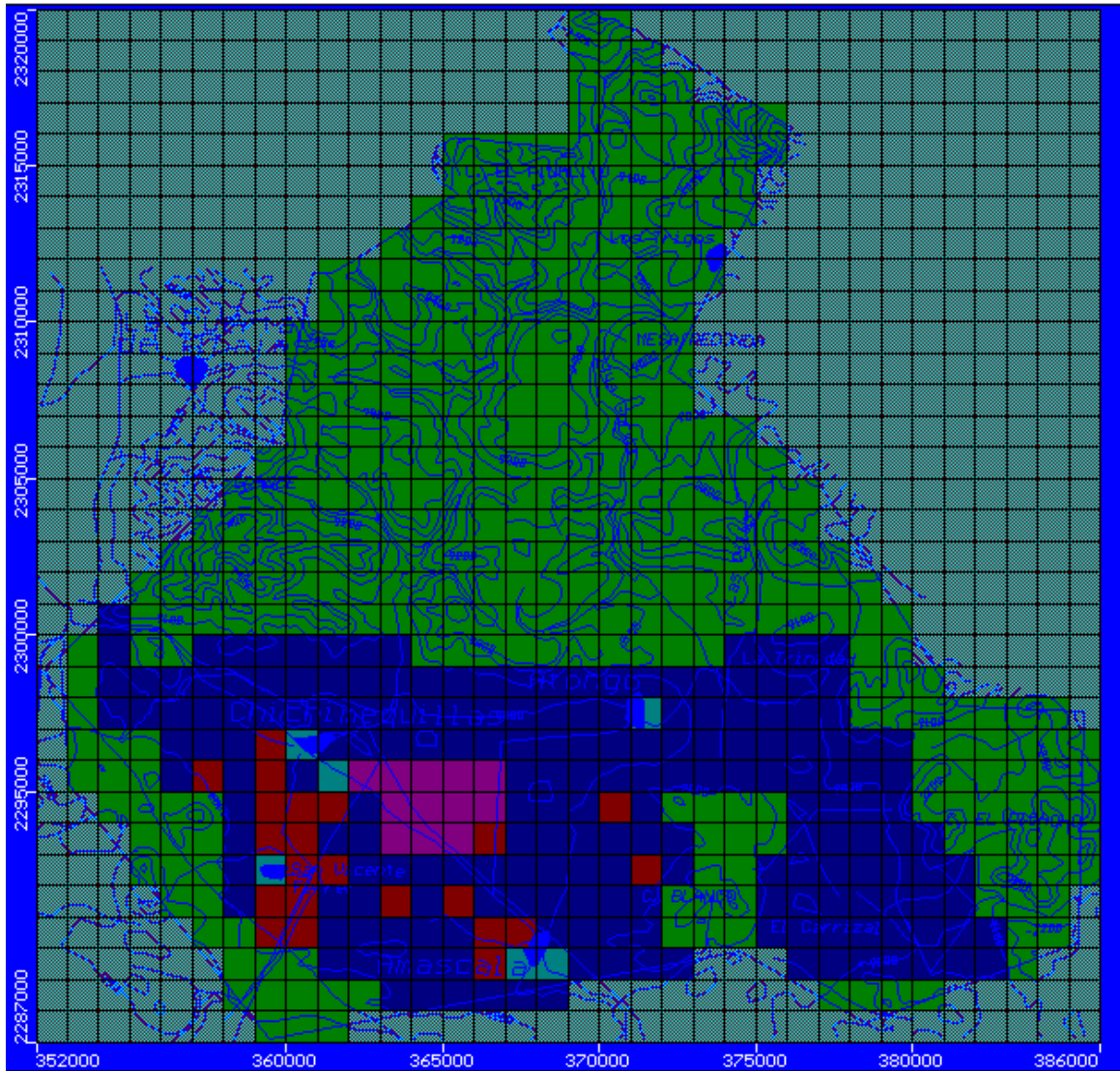


Figura No. XI.1 Distribución espacial de las diferentes zonas de explotación y recarga del Valle de Amazcala

XI.3 Balance por microcuencas

Como se puede apreciar en la Figura XI.2, el área del acuífero Valle de Amazcala esta bien definida por una parte alta (Región Norte) y una zona de Valle en donde se ubican el total de explotaciones subterráneas, por lo que en conjunto se pueden delimitar las zonas de explotación mencionadas en el inciso anterior, sin embargo tratar de subdividirla en pequeñas subcuencas resultaría inconveniente, ya que éstas (las cuales se ubican solo en las zonas altas) no englobarían el total de factores de explotación identificados en el total del acuífero.

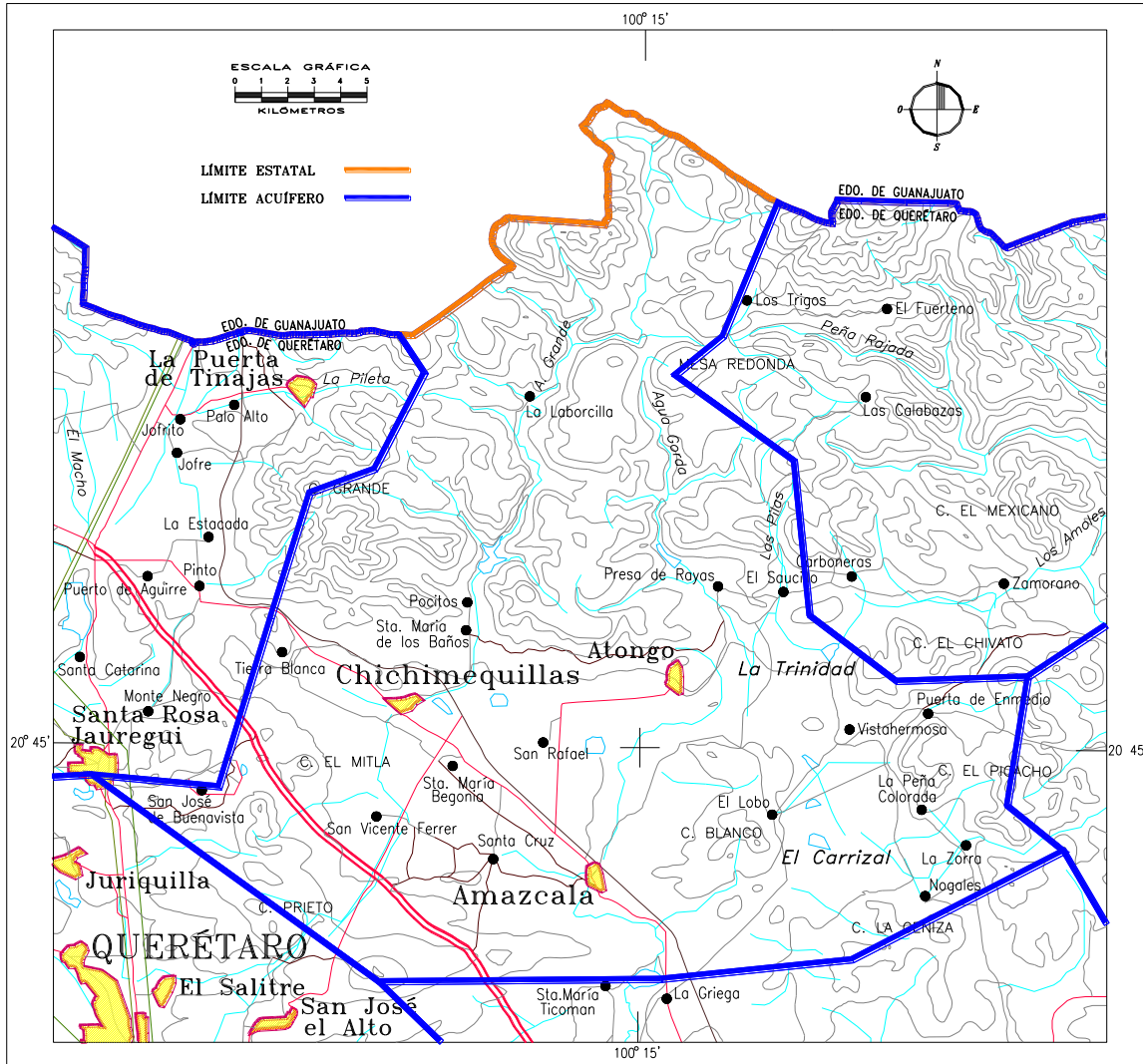


Figura No. XI.2 Topografía del acuífero Valle de Amazcala

XI.4 Balance de equilibrio

Un balance de equilibrio que muestra las extracciones requeridas para lograr el equilibrio se muestra en el Cuadro XI.3. Para realizar este balance se supuso que el uso público urbano continuaría con la extracción actual, disminuyendo el uso agrícola hasta lograr el equilibrio. El valor de la extracción bruta tendría que disminuir de 39.71 hm³/año a 20.02 hm³/año. Los coeficientes empleados son los descritos en el inciso XI.2.

Cuadro No. XI.4 Balance de equilibrio

| CONCEPTO | Volumen (hm ³ /año) |
|---|--------------------------------|
| P.U. Agua subterránea (hm ³ /año) | 4.35 |
| Agrícola Subterránea (hm ³ /año) | 8.29 |
| Pecuario | 1.97 |
| Industrial (hm ³ /año) | 0.68 |
| Exportación a Querétraro | 4.73 |
| SALIDAS TOTALES | 20.02 |
| | |
| Recarga lluvia (hm ³ /año) | 6.0 |
| Recarga lluvia partes altas (hm ³ /año) | 11.1 |
| Entradas horizontales (hm ³ /año) | 0.0 |
| Recarga Público urbano (hm ³ /año) | 0.9 |
| Recarga por retornos de riego Subterránea(hm ³ /año) | 2.1 |
| RECARGA TOTAL (hm³/año) | 20.02 |
| Minado (hm³/año) | 0.00 |

XI.5 Balance REPDA

En lo que respecta a los volúmenes concesionados en el Registro Publico de derechos del Agua, se aprecia que los volúmenes concesionados superan a los de recarga, lo cual incrementa el minado del acuífero pasando de 15.7 a 17.36 hm³/año, lo que indica la necesidad de hacer un reajuste a estos volúmenes, ya que de hacer un ajuste en el que los usuarios deban apegarse a los valores concesionados, no se lograría la estabilización futura del acuífero. El detalle de dicho balance se presenta en el Cuadro XI.4. Cabe mencionar que este volumen reportado solo considera los pozos inscritos en el REPDA y que por su ubicación están inscritos en los limites del acuífero.

Cuadro No. XI.4 Balance REPDA

| CONCEPTO | Volumen (hm³/año) |
|---|---|
| P.U. Agua subterránea (hm ³ /año) | 2.55 |
| Agrícola Subterránea (hm ³ /año) | 32.92 |
| Pecuario | 1.42 |
| Industrial (hm ³ /año) | 0.22 |
| Exportación a Querétaro | 4.73 |
| SALIDAS TOTALES | 41.84 |
| | |
| Recarga lluvia (hm ³ /año) | 6.0 |
| Recarga lluvia partes altas (hm ³ /año) | 11.1 |
| Entradas horizontales (hm ³ /año) | 0.0 |
| Recarga Público urbano (hm ³ /año) | 0.5 |
| Recarga por retornos de riego Subterránea(hm ³ /año) | 6.9 |
| RECARGA TOTAL (hm³/año) | 24.48 |
| Minado (hm³/año) | -17.36 |