

Introducción

El acuífero del Valle de Tecamachalco, tiene actualmente un déficit importante en la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos, situación que pone en peligro el abastecimiento seguro a los habitantes de la zona, por el agotamiento de su principal fuente de abasto. La zona alberga a una población de unos 615,000 habitantes, considerando la totalidad de la población de los 27 municipios inmersos en los límites administrativos del acuífero, con una tasa de crecimiento superior al 2% anual, lo que significa que la población en el año 2030 será de unos 900,000 habitantes.

Actualmente se estima un desequilibrio entre la extracción y la recarga del orden del orden de 120 hm³/año, lo que se traduce en abatimientos importantes de los niveles en el acuífero, sobre todo en las partes donde se concentra la extracción, como son las cercanas a Tepeaca y Palmar de Bravo.

Aunado a lo anterior, se observa la fuerte presencia de las tareas y acciones ejercidas por la fuerte dinámica agrícola que se lleva a cabo en el Distrito de Riego y los efectos de su infraestructura hidroagrícola sobre los recursos hídricos del Acuífero. La permanencia y solvencia de las estructuras de canales, drenes, carreteras y puntos de extracción están señalados en el trabajo que se realizó como parte complementaria de este proyecto de investigación, y que se señalan en los shapes incluidos en el apartado de entregables donde se observa la ubicación espacial de dichas estructuras. Esto se hizo para entender y analizar el comportamiento de estos componentes dentro del acuífero, y así poder evaluar el impacto que ha tenido la población y la agricultura en la región donde se ubica el Acuífero del Valle de Tecamachalco.

Ante la situación expuesta, las autoridades y usuarios del agua subterránea deben formular, promover, promocionar y dar seguimiento a propuestas y acciones que contribuyan a la recuperación y preservación del Acuífero Valle de Tecamachalco. Este interés, tanto de usuarios como de autoridades del Valle de Tecamachalco, debe sustentarse dentro del marco señalado por la Ley de Aguas Nacionales.

Esta propuesta busca fincar las bases para proponer acciones y normas en la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas del Valle de Tecamachalco, partiendo de una evaluación del estado que guardan los recursos hídricos subterráneos del Valle de Tecamachalco.

Dicha propuesta está basada en estudios técnicos y registros sobre la disponibilidad del agua subterránea, superficial y residual, así como en estudios previamente consultados sobre la demanda de agua en la región.

Esta propuesta partió del planteamiento de una situación problemática, sobre la base de un diagnóstico realizado a partir de la consulta de información primaria, registros y

bases de datos existentes en las instalaciones de las oficinas de los actores involucrados. Por actores involucrados debemos entender a los Módulos de Riego (Grupos Organizados de Usuarios del Agua), y autoridades del Agua (Distrito de Riego 030 Valsequillo).

El objetivo de esta propuesta, es evaluar el estado del agua en el Acuífero Valle de Tecamachalco para proponer una serie de recomendaciones que busquen lograr el desarrollo sustentable de la región, entendiéndose al agua como un insumo indispensable y necesario para garantizar el desarrollo económico y poblacional de la región y para garantizar el abasto del preciado líquido a las generaciones futuras, buscando la obtención de un manejo adecuado del acuífero, con la idea de disminuir los abatimientos de los niveles del agua hasta eliminarlos y al mismo tiempo lograr un mejor uso de los recursos hídricos disponibles, de tal manera de conservar el almacenamiento del agua subterránea, considerado como un recurso no renovable y estratégico para hacer uso de él sólo en ocasiones especiales de sequía extrema o alguna otra situación de emergencia que amerite el uso de esa reserva.

Descripción del problema

Actualmente se estima un desequilibrio entre la extracción y la recarga del orden de 120 hm³/año, lo que se traduce en abatimientos importantes en la zona, sobre todo en las partes donde se concentra la extracción, como son las zonas cercanas a Tepeaca y Palmar de Bravo.

Los problemas de sobreexplotación del Acuífero del Valle de Tecamachalco ponen en riesgo a la población asentada en la zona del acuífero, ya que se está arriesgando una fuente de abastecimiento segura que satisfaga las necesidades de sus habitantes, sin el deterioro ambiental de la región e incrementos en los costos de bombeo.

Aunque se han observado, revisado y registrado los niveles de profundidad del agua subterránea, los niveles de la misma se han venido degradando paulatinamente debido a la presión demográfica ejercida en la zona. Esta situación conlleva la práctica de la agricultura como principal actividad económica de la zona.

El Distrito de Riego 030 Valsequillo está constituido por infraestructura hidroagícola que es utilizada para suministrar de agua al espacio agrícola (33,000 ha) presente en los límites del acuífero. Con esta estructura se aprovechan los escurrimientos superficiales de los remanentes del río Atoyac y Alseseca que se captan en la Presa Manuel Ávila Camacho. La mención en este estudio del Distrito de Riego es importante, ya que gran parte del comportamiento y estado actual del acuífero, está muy relacionado a la actividad agrícola de la zona, que está enmarcada dentro del control de los recursos hídricos por parte de los usuarios del agua, que en este caso denotan su participación con la siembra de cultivos para la producción de distintos productos agrícolas. Esta actividad ha conllevado una serie de efectos e impactos que

en este estudio se mencionan con el análisis de los distintos registros de extracciones y superficies agrícolas sembradas para aprovechar tanto los recursos hídricos subterráneos como superficiales.

Los efectos de dicha actividad se han convertido en un problema, porque los niveles del agua subterránea del acuífero están a la baja. Esta situación de desequilibrio, manifestado en un déficit de disponibilidad está poniendo en riesgo el desarrollo mismo de la población y los municipios asentados en la región donde se ubica el acuífero. Por ello los registros levantados con motivo del problema de escasez y baja disponibilidad de agua del subsuelo han sido revalorados en este estudio para evaluar el estado del Acuífero y a partir de ello proponer acciones que detonen en el aprovechamiento sostenible del agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Pue. Dentro de este Proyecto, se proponen reglamentos en la explotación, uso o aprovechamiento de la aguas del acuífero; además, bien puede contemplarse dentro de la Programación Hidráulica la participación de los usuarios, mediante la organización de los trabajos necesarios para formular las acciones requeridas, propiciando el concurso de las distintas instancias de gobierno.

Justificación

Con el objeto de subsanar los problemas de sobreexplotación del acuífero de Tecamachalco y que en lo futuro se cuente con una fuente de abastecimiento segura que satisfaga las necesidades de sus habitantes, sin el deterioro ambiental de la región e incrementos de costos de bombeo, se consideró prioritario elaborar una Evaluación del Acuífero para proponer acciones que detonen en el aprovechamiento sostenible del agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Pue. Dentro de este Proyecto, se proponen reglamentos en la explotación, uso o aprovechamiento de la aguas del acuífero; además, bien puede contemplarse dentro de la Programación Hidráulica la participación de los usuarios, mediante la organización de los trabajos necesarios para formular las acciones requeridas, propiciando el concurso de las distintas instancias de gobierno, de los usuarios de las aguas nacionales a través de los Consejos de Cuenca y demás mecanismos que se establezcan.

Este Proyecto puede enmarcarse 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 en donde se plantea un crecimiento 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 dicho Plan Nacional a la necesidad de disponer de suficiente agua y 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 Nacional, 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.

El Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, plantea el propósito de alcanzar el manejo sostenible del agua. Específicamente se han establecido objetivos rectores, como son el 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.

El Programa Estatal de Desarrollo 1999-2005, establece como principios el desarrollo de un gobierno democrático, eficiente, rector, promotor, conciliador y responsable del bienestar y está regido bajo los principios de democracia, justicia y bienestar social.

Dentro de los programas de gobierno prioritarios, presentados en el tercer informe de gobierno del estado de Puebla, se mencionan los alcances en la cobertura de los servicios de agua para la población, la preservación de la recarga a los acuíferos mediante la forestación, la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, y en general, la cobertura de los servicios en poblaciones, agricultura e industria.

Dicho proyecto se denomina Propuesta de un Plan de Manejo para el Aprovechamiento del Agua en el Acuífero Valle de Tecamachalco, Pue., y está basado en estudios técnicos sobre la disponibilidad del agua subterránea, superficial y residual, así como sobre la demanda de agua en la región. Complementa lo anterior, la realización de Shapes que se refieren a estructuras hidroagrícolas como áreas agrícolas, canales, drenes, puntos de extracción, carreteras, población, entre otros, que ilustran la descripción de la actividad agrícola que se lleva a cabo en el Distrito de Riego 030 Valsequillo, y que para fines de este proyecto, tuvieron como objeto de utilidad el uso del programa ArcGis para poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la asistencia al Diplomado en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. Esta actividad viene respaldada con anexos entregables de dichos Shapes y que complementan la información del uso del agua tanto superficial y subterránea como factores, objetos de análisis del Acuífero del Valle de Tecamachalco tanto en el comportamiento de los niveles de aguas subterráneas y las

recargas que este sistema hídrico subterráneo recibe de las aguas superficiales aprovechadas en el Distrito de Riego. Sin embargo, cabe hacer mención que solo se elaboraron dichos Shapes como respaldo de este estudio, ya que en el documento final estos no fueron incluidos como mapas temáticos, debido al contenido y fin del proyecto, que es el evaluar y realizar mapas temáticos que ilustren el comportamiento del sistema del acuífero en su conjunto.

Objetivos

El objetivo del Plan es evaluar el estado y comportamiento del Acuífero del Valle de Tecamachalco, entendiéndose al agua como un insumo indispensable y necesario para garantizar el desarrollo económico y poblacional de la región y para garantizar el abasto del preciado líquido a las generaciones futuras.

Al mismo tiempo, el Plan de evaluación estudia el comportamiento del Acuífero busca como tener un manejo adecuado del mismo, lo que tendería hacia una disminución de los abatimientos de los niveles del agua hasta su estabilización y a una mejora en el uso del agua, de tal manera de conservar el almacenamiento del agua subterránea, considerado como un recurso no renovable y estratégico para hacer uso de él sólo en ocasiones especiales de sequía extrema o algún otra situación de emergencia que amerite el uso de esa reserva y lograr un mayor ingreso en las actividades productivas.

Alcance

En cuanto al alcance del estudio, se busca evaluar el estado del acuífero partiendo del análisis de los registros de niveles de agua del subsuelo, así como un diagnóstico de la situación y dinámica demográfica, agrícola e hídrica de la región que comprende el acuífero. Por ello la observación del Distrito de Riego como factor de intervención en el comportamiento mismo del sistema hídrico del subsuelo, ya que la dinámica agrícola persiste como una actividad que ha detonado en la sobreutilización del agua subterránea para fines de riego.

Con este estudio, se busca retomar y revalorar los registros y bases de datos consultadas para proponer acciones de manejo que puedan retroalimentar lo que autoridades y actores involucrados en el manejo del agua estén haciendo en la actualidad.

Instituciones o Empresas aplicables al proyecto

Con motivo del Diplomado en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica este Proyecto se diseñó en un contexto académico para aplicar los sistemas de información geográfica al estudio del comportamiento del Acuífero del Valle de Tecamachalco, Pue. Aplicando el programa ArcGis se elaboraron los mapas y shapes necesarios para ilustrar el estado del acuífero y respaldar la información consultada. Cabe destacar en este aspecto, que el documento final contiene los mapas temáticos que ilustran al acuífero, pero sus shapes no se encuentran en el respaldo de los apartados de entregables que se solicitan. Esto se debe a que la institución participante, como lo es el Distrito de Riego, proporcionó dichos shapes, como elementos que se continuaron trabajando en este proyecto, pero que se retomaron de trabajos previos hechos por el área de Recursos Hidráulicos del Distrito de Riego 030 Valsequillo. Concretamente, se retomaron shapes que ilustraban los comportamientos mencionados en el contenido de este documento, pero que hacían referencia a toda la región del Valle de Tecamachalco, y no incluían el polígono de los límites administrativos del acuífero, razón por la cual el autor de este documento se dio a la tarea de complementar los shapes mencionados añadiendo el polígono y capa que ilustra los límites del acuífero. Esta información, caracterizada por shapes del Valle hechos en anteriores estudios, fue proporcionada al autor de este proyecto solo dentro de las instalaciones de la institución involucrada (Distrito de Riego), razón por la cual los shapes fueron únicamente complementados y por la misma razón se brindaron únicamente para el ejercicio académico correspondiente, sin que se permitiera extraer el sistema de información geográfica (shapes) por ser información hecha en estudios anteriores y que aun se está trabajando por parte de las autoridades competentes.

Este proyecto busca promover la integración de la planeación participativa, con grupos de planeación constituidos por representantes de instituciones federales y estatales así como de las autoridades de los municipios involucrados en el área del acuífero. Dentro del grupo que se propone como institución y organización aplicable está el COTAS representado por los sectores agrícolas, público urbano e industrial, así como representantes del sector académico e institucional.

Por otro lado, este proyecto pretende reforzar estudios futuros de aplicación de los sistemas de información geográfica tendientes al análisis de los recursos hídricos de la región donde se ubica el acuífero.

DIAGNÓSTICO

EVALUACIÓN DEL ÁREA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE TECAMACHALCO

Población y desarrollo socioeconómico

Con más de medio millón de habitantes (615 mil) en el año 2000, el 67% residía en ocho de los 27 municipios que integran la región. Adicionalmente, la región destaca por su dinamismo demográfico, habiendo crecido 2.9% anual entre 1990 y 2000, en contraste con un crecimiento de 1.8% anual, a nivel nacional. En las zonas rurales, donde habitó cerca de la cuarta parte de la población, la tasa de anual de crecimiento observada correspondió a cuatro veces la nacional (2.3% vs 0.6%). En las zonas urbanas, la expansión fue de 3.1% anual, en contraste con 2.3% a nivel nacional.¹

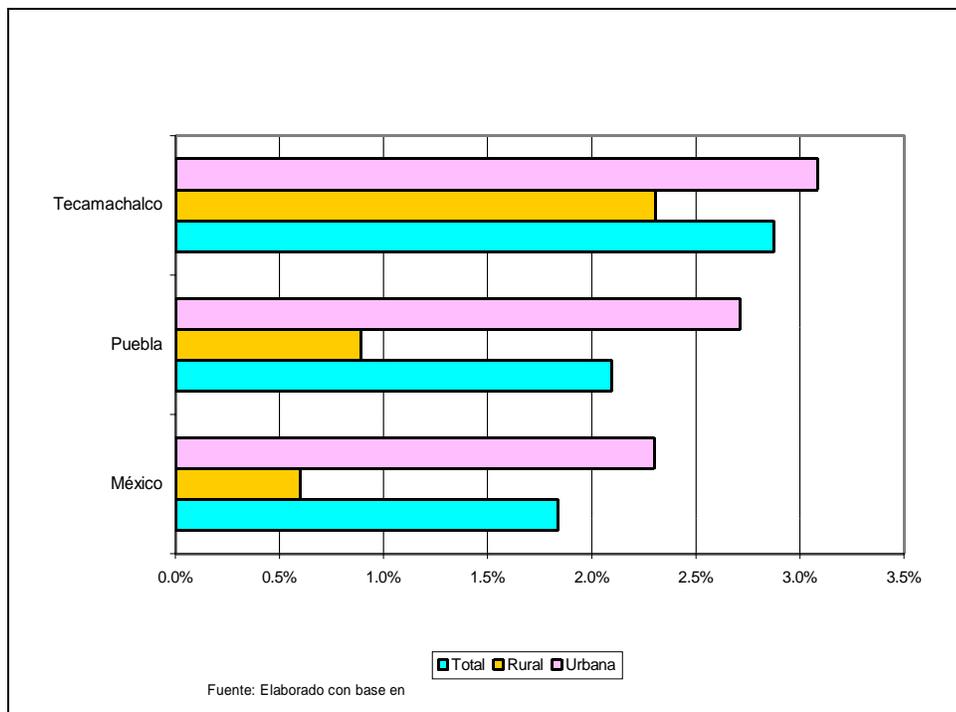


Fig. No. 1 Región de Tecamachalco, Puebla y México. 1990-2000
Población Rural, Urbana y Total (Crecimiento anual %)

Entre 1990 y 2000, Tecamachalco experimentó un auge en el empleo, alcanzando 172,826 en el último año, aumentando a una tasa de 5.2% anual. Casi dos quintas partes de los trabajadores (37.3%) se encuentra en el sector agropecuario, cifra excepcionalmente alta, ya que a nivel nacional es de 15.8%. Si bien en las manufacturas solo está empleado el 15.9% del total de trabajadores, la planta laboral

¹ Los datos económicos y de población aquí referidos se obtuvieron de fuentes del INEGI, en concordancia con los registros de mediciones del comportamiento de las aguas subterráneas que más se apegaron a estas cifras. Por ello los datos poblacionales y económicos citados en este estudio son de censos de los años 2000-2002.

creció a una tasa de 9.2% anual en la década de referencia. Los servicios representaron el 32.9% de la planta laboral, creciendo al 8.3% anual. El sector agropecuario fue el más modesto en crecimiento local (2.5% anual); no obstante, contrasta con el nivel nacional (0.1% anual de aumento).

En el periodo 1999-2001 se cultivaron un promedio de 50 mil hectáreas irrigadas, incluyendo dobles cultivos, con un valor de 700 millones de pesos, a precios del año 2000. Los cultivos básicos absorben la mitad de la superficie (52%), aportando la cuarta parte (24%) del valor. En las hortalizas se presenta un fenómeno inverso a los básicos pues, cubriendo poco más de la cuarta parte (27%) de la superficie, generan la mitad (50%) del valor. Los forrajes ocupan el 21% de la superficie y producen el 26% del valor. En cada uno de estos grupos de cultivos se observa un grado de concentración manifiesta. El 85% de la superficie de básicos corresponde a maíz. El 84% de la de forrajes se cultiva con alfalfa. De las quince hortalizas cultivadas, seis absorbieron 77% de la superficie y aportaron 85% al valor generado en este grupo.

Los básicos produjeron 6.6 miles de pesos por hectárea. En el caso de los forrajes y de las hortalizas fue de 17.2 y de 27 miles de pesos por hectárea, derivándose la conveniencia de una reorientación de cultivos, dada la amplia disseminación de los de mayor valor. En cuanto a rendimiento físico por unidad de superficie, Tecamachalco presenta rezagos recurrentes con relación a la media nacional.

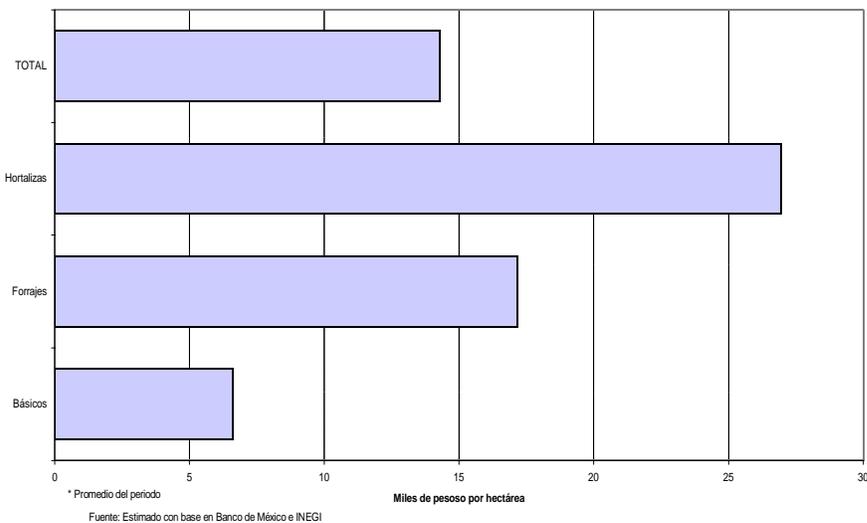


Fig. No. 2 Región de Tecamachalco. Grupo de cultivos, valor por unidad de superficie. 1999-2001 (Miles de pesos de 2000/ha)

Tanto el ámbito privado como el ejidal (social) ocuparon el 42% de la superficie irrigada total. El porcentaje restante (16%) se refiere a predios de uno y otro régimen bajo un mismo propietario. En promedio, las mixtas fueron de 2.8 hectáreas. En el ámbito privado los predios irrigados abarcaron el 42% del total, tuvieron un promedio

de 2.4 hectáreas irrigadas, ligeramente superior a las 2.2 hectáreas observadas en el sector de propiedad social (ejidal), con lo cual el minifundismo es predominante. En el sector ejidal (social), una tercera parte de los sujetos de derecho tenía más de 60 años, en tanto sólo una cuarta parte contaba con menos de 45 años, coadyuvando a que se disocie la función de trabajo con la de la propiedad predial, induciendo al rentismo parcelario.

Dentro de las actividades primarias, Tecamachalco es predominantemente pecuario. Por ejemplo, de menos de 2 mil millones (1992 a 1995), éste creció a poco más de 3 mil millones en 1996, colocándose en torno a los 3.5 miles de millones de 1997 a 2000. La devaluación del peso conlleva un encarecimiento de los productos importados, expandiéndose la producción doméstica al abatirse las compras foráneas.

La actividad pecuaria más importante es la producción de huevo, con un máximo cercano a 2.5 miles de millones en 1998, equivalente al 19% de la producción nacional, representando más de la mitad de la producción de Puebla y 58% de la producción pecuaria regional. Un segundo plano de importancia es compartido por pollo de engorda y leche de bovino, cada cual con cerca del 15% del valor de la región. Particularmente en huevo, se observa una alta respuesta de los productores a incrementos en el valor producido, ante cambios en los precios de dicho producto.

Dentro del sector manufacturero, la agroindustria generó un valor agregado de 202 millones de pesos en 1998, concentrada en dos actividades. Fabricación de alimentos para animales y molienda de cereales generaron 40.2% y 37.7%, respectivamente, del monto mencionado. La primera se desarrolla básicamente en Cuaupíaxtla de Morelos, y la segunda en establecimientos en Tecamachalco. La productividad por hombre ocupado en la primera es semejante a la estatal, mientras que en molienda de cereales es 25% menor a la que privó en la entidad. Además de la reducida importancia agroindustrial en términos absolutos, no se efectúa un procesamiento de productos generados localmente, bien porque se venden en fresco o debido a que dicho procesamiento se da fuera de la región productora. En el caso de los forrajes, se trata de un insumo para el huevo, por ejemplo. En la molienda cerealera, la materia prima proviene de fuera de la región. Está pendiente de desarrollarse el procesamiento de productos locales.

El resto de manufacturas tuvieron un valor agregado de 1.3 miles de millones de pesos en 1998, dominadas por la producción de minerales no metálicos en un 91%, proveniente en lo fundamental de establecimientos industriales localizados en el municipio de Cuautinchán. En esta actividad, la productividad en la región fue 5 veces mayor que en la entidad.

El PIB en Tecamachalco fue de 2,852 millones de pesos. El riego y el temporal participaron con 6.9% y 2.1%, respectivamente. El PIB de las actividades pecuarias su-

pera a la agricultura, alcanzando el 11.1%. En términos sectoriales, el primario generó un 18.3%, el secundario el 26.7%, y el terciario el 55.1%. El PIB por habitante en Tecamachalco fue de 28 mil pesos, 20% inferior al de la entidad (figura 4).

En Tecamachalco predomina la monoproducción. Es el caso de básicos (maíz), y de forrajes (alfalfa), en el sector agrícola, sólo las hortalizas escapan a este esquema. En cuanto a actividades pecuarias, huevo en primer plano, seguido de pollo y leche de bovino, contribuyen a dicho patrón. En agroindustria, alimentos para animales y molienda de cereales tienen un peso omnímodo. Por lo que se refiere al resto de actividades manufactureras, minerales no metálicos domina la producción, tanto en básicos, como en forrajes. Considerando la diseminación hortícola con la que efectivamente lograda, es posible, con organización e introducción de técnicas alternas de cultivo, elevar la productividad física, estimular el empleo y el ingreso obtenidos. De manera paralela, se estarán sentando las bases para el procesamiento de productos hortícolas, estimulando los enlazamientos productivos al interior de la región, posibilitando la transformación de Tecamachalco como región agroindustrial autosustentada.

Finalmente, en la figura 4 se comparan el PIB sectorial de la región de Tecamachalco con la del estado de Puebla en su totalidad, mostrando un mayor desarrollo en el sector agrícola en la región en comparación con la entidad.

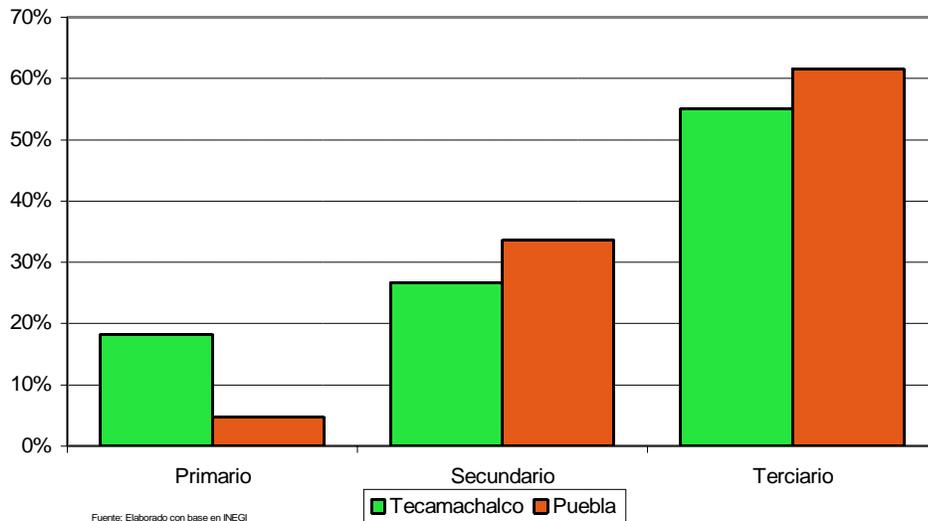


Fig. No. 3 Región de Tecamachalco y Puebla. PIB por Sector de Actividad. 1998 (% del total)

Climatología

El clima en la zona de acuerdo a Wilhem Köppen y modificado por Enriqueta García² corresponde a varios Tipos, en la parte oriental y donde se localizan las poblaciones de Palmar de Bravo, Esperanza Cañada Morelos, Tlacotepec, San Marcos Tlacoyo y Pozoltepec el denominado BS1Kw (w) que es del Tipo de climas semisecos, subtipos semisecos templados. En la parte central del área de estudio, dentro de la cual se localizan las poblaciones de Tecamachalco, Quecholac y Santo Tomás Hueyotlipan, el clima preponderante es el C(wo)(w) que es del Tipo templado subhúmedo (agrupa a los subtipos menos húmedos de los templados subhúmedos); hacia la parte noroccidental, donde se localizan los poblados de Acatzingo de Hidalgo, Tepeaca y Acajete, los climas dominantes corresponden a los denominados C(w1) (w) y C(w2) (w), que indican climas de Tipos templados subhúmedos (el primero agrupa a los subtipos de humedad media de los templados subhúmedos, y el segundo tipo agrupa a los subtipos más húmedos de los templados húmedos). En menor proporción se presentan otros climas como el de la zona de Tehuacán BS1hw(w), ya fuera del área de estudio, del tipo clima semiseco, subtipo semiseco semicálido, y como el que se registra en la zona del volcán de La Malinche C(E)(w2)(w), que es de Tipo semifrío subhúmedo. Todos los climas anteriores son con lluvias de verano y % de precipitación invernal menor de 5. En la figura 4 se muestran estos climas con distintos colores y su nombre inscrito en su área correspondiente.

De conformidad con la información obtenida en la INEGI³, la Figura 6 muestra que la precipitación promedio anual de la zona de estudio varía de 400 a 800 mm/año. En el área de Esperanza y Cañada Morelos la precipitación promedio anual se encuentra entre 400 y 500 mm/año, en el valle de Palmar de Bravo la precipitación promedio varía de 400 a 600 mm/año, mientras que en el área de Tepeaca-Tecamachalco, la media oscila entre 650 y 700 mm/año y entre Tecamachalco-Tepanco de López es de aproximadamente 600 mm/año.

² SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO. Atlas Nacional del Medio Físico. 1981

³ Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Gobierno del Estado de Puebla. Anuario Estadístico 2001.

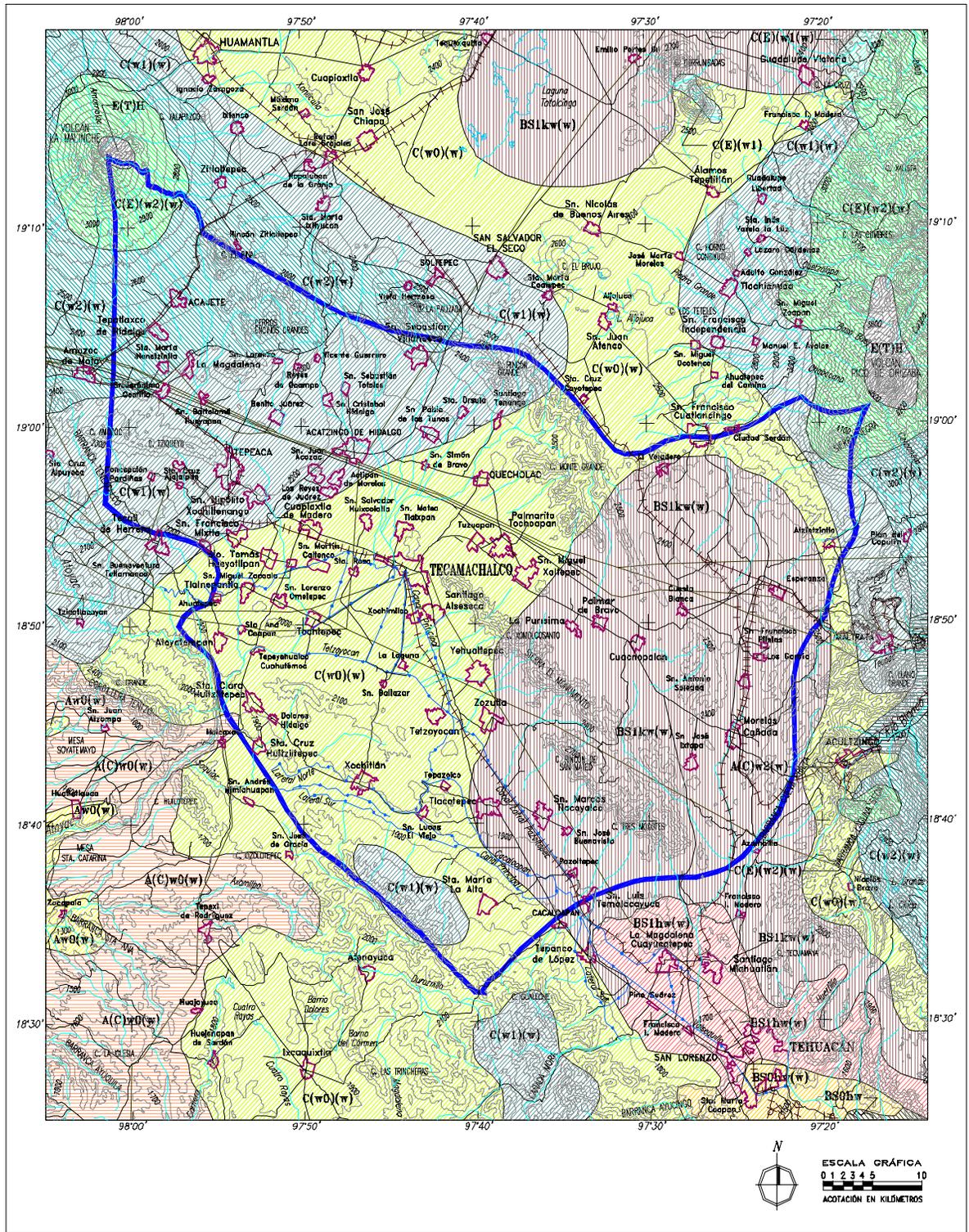
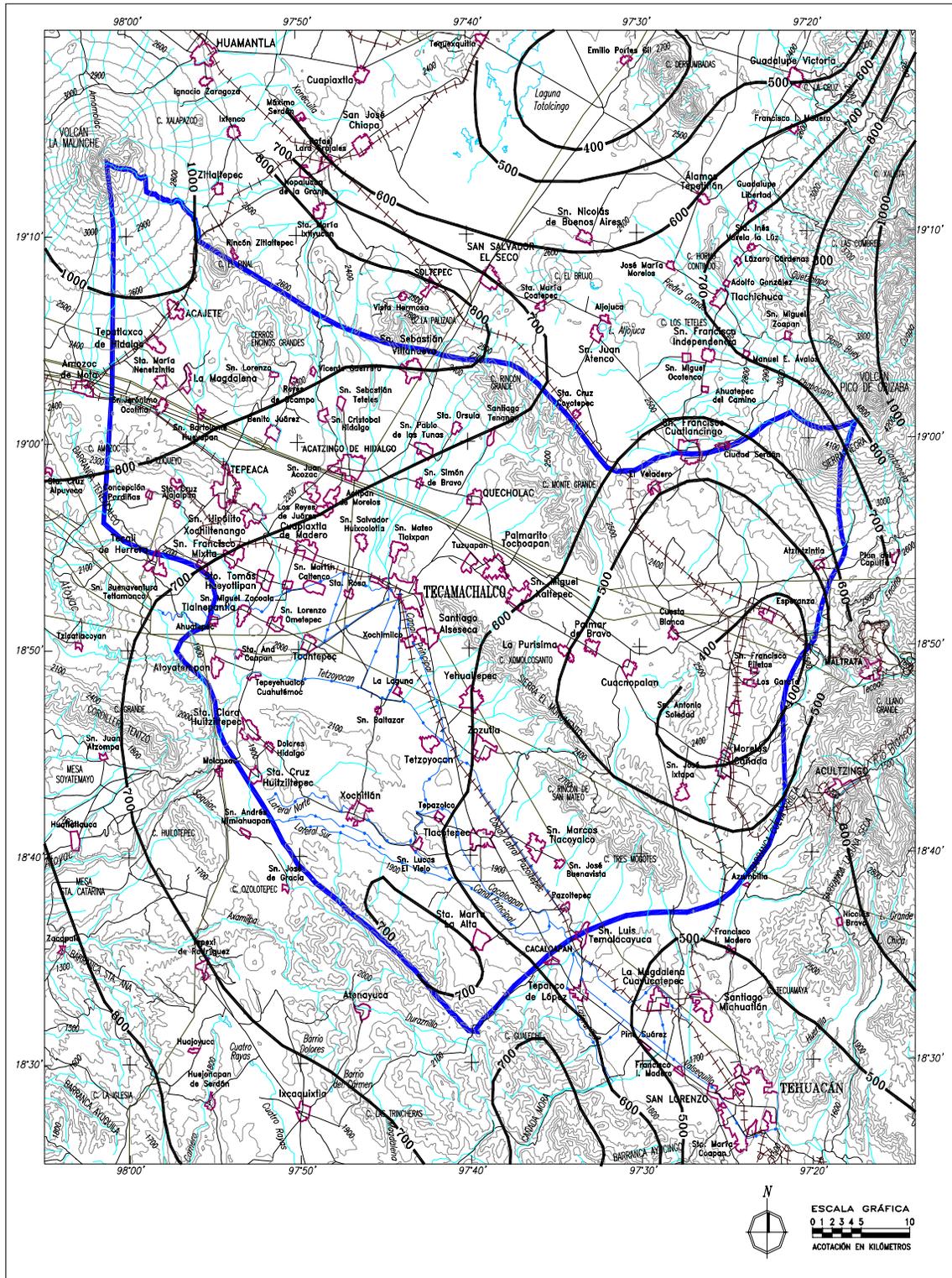


Fig. No. 4 Distribución de climas



Las temperaturas medias anuales oscilan entre 12°C y 18°C, correspondiendo a la zona del valle de Esperanza valores medios de 12°C a 14 °C; para el valle de Palmar

de Bravo es de 14 °C a 15 °C, y para los valles de Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán las temperaturas promedio anuales son del orden de 16 °C a 18 °C. Desde luego las temperaturas disminuyen hacia las partes altas.

De acuerdo con la información presentada en el estudio del año 1996, la evaporación potencial media anual en el valle de Esperanza es del orden de 1,500 m/año, mientras que en el Valle de Palmar de Bravo es de 1,750 mm y para el de Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán es de 1,800 mm.

Recursos hídricos y su distribución territorial

Los recursos hídricos son aprovechados en su gran mayoría por la agricultura. Por lo que respecta a los de origen superficial son del orden de 207 hm³/año, provenientes de la presa Valsequillo, obra de cabecera del Distrito de Riego No. 030. La superficie irrigada es del orden de 16,000 ha, en la segunda y tercera unidades, correspondiendo al 84% del total del distrito. Su ubicación corresponde a la parte sur del acuífero.

Respecto a las aguas subterráneas se extrae un volumen bruto de 343 hm³/año, de los cuales 278 hm³/año corresponden al uso agrícola, la diferencia es prácticamente el uso público urbano, ya que el uso industrial y doméstico contribuye sólo con el 2%.

Por otro lado, las fuentes de los recursos hídricos son, como ya se mencionó, las superficiales provenientes de la presa Valsequillo, que se generan como aguas residuales de la ciudad de Puebla (mostrado en la figura 6 con flecha verde). Las recargas más importantes de agua subterránea son las que provienen de la Malinche y del Pico de Orizaba (mostradas con flechas rojas), tal como se muestra en la Figura 6.

La mayor parte de las extracciones de aguas subterráneas se concentra en la zona del Distrito de Riego y la menor en la zona de Esperanza. Teniéndose valores semejantes en las zonas de Tepeaca y Palmar de Bravo, tal como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 7.

Tabla No. 1 Volúmenes utilizados de agua subterránea por zonas

	Agrícola hm³/año	Total hm³/año
Acuífero	278	343
Distrito	129	151
Tepeaca	62	83
Palmar de Bravo	73	89
Esperanza	14	20

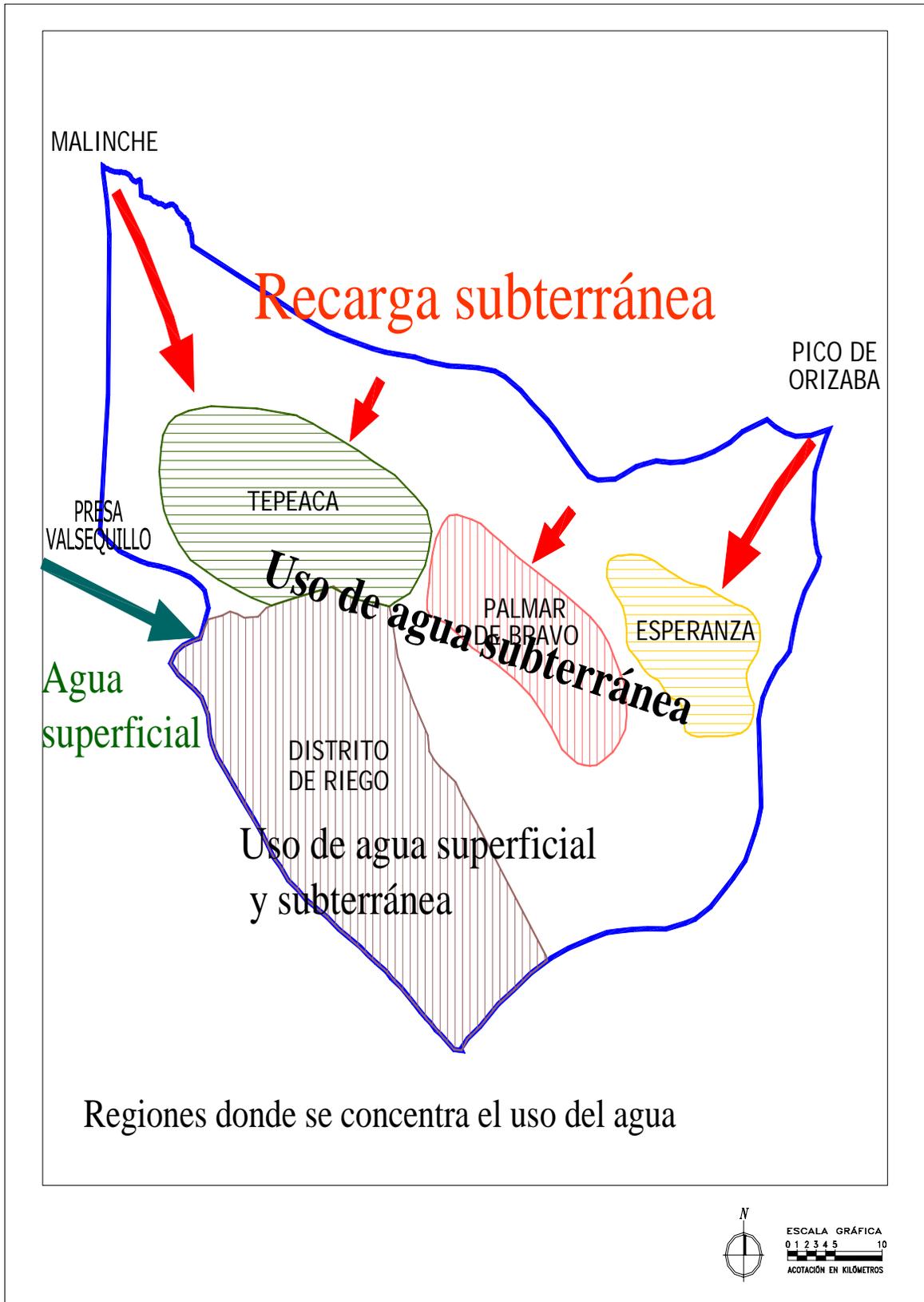


Fig. No. 6 Distribución territorial por zonas de los usos y la oferta del agua

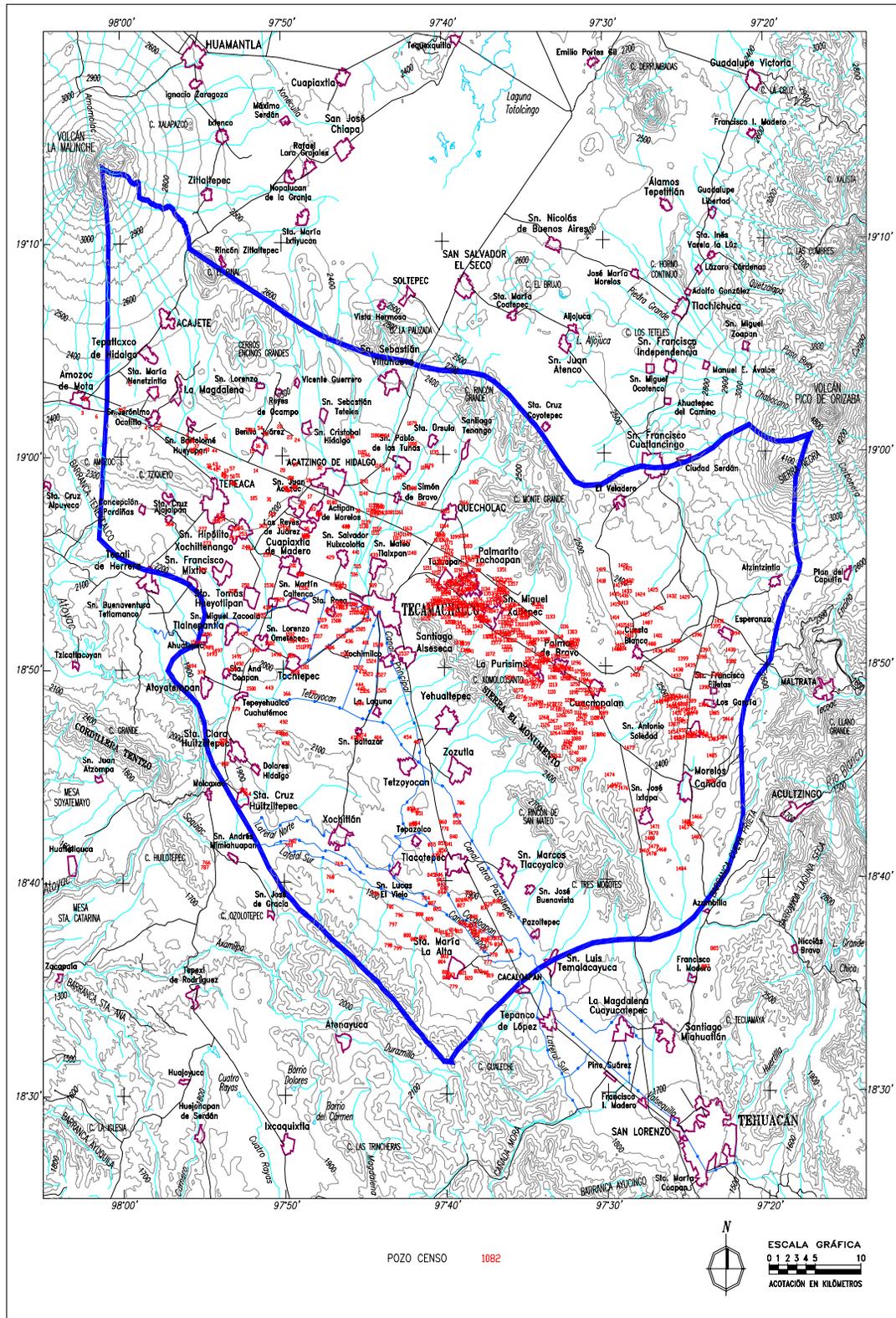


Fig. No. 7 Localización de aprovechamientos de agua subterránea

Aguas subterráneas

Geología y unidades hidrogeológicas⁴

En la Figura 8 se muestran las principales unidades geológicas que cubren la región. La zona de estudio queda comprendida en las cuencas del Papaloapan y Balsas⁵, tal como se muestra en la figura siguiente. En la región de estudio se han identificado tres unidades geomorfológicas principales: planicies intermontañas (valles), serranías y conos volcánicos.⁶

Las partes bajas constituyen el valle de Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán y Palmar de Bravo, La Esperanza, el cual presenta un estado de madurez en su ciclo geomorfológico. Este extenso valle en gran parte del área de estudio tiene una altitud promedio del orden de 2 000 msnm y presenta un ligero basculamiento en dirección sureste; es decir, en la dirección de su eje longitudinal, el cual presenta una extensión de 75 km desde las inmediaciones de Tepeaca hasta Tehuacán, con amplitud promedio del orden de 12 km, siendo su sector más amplio de 15 km. La porción del valle Palmar de Bravo-Esperanza es menos amplio, ya que sus dimensiones son de 40 km, de largo por escasos 7 km de ancho en promedio.

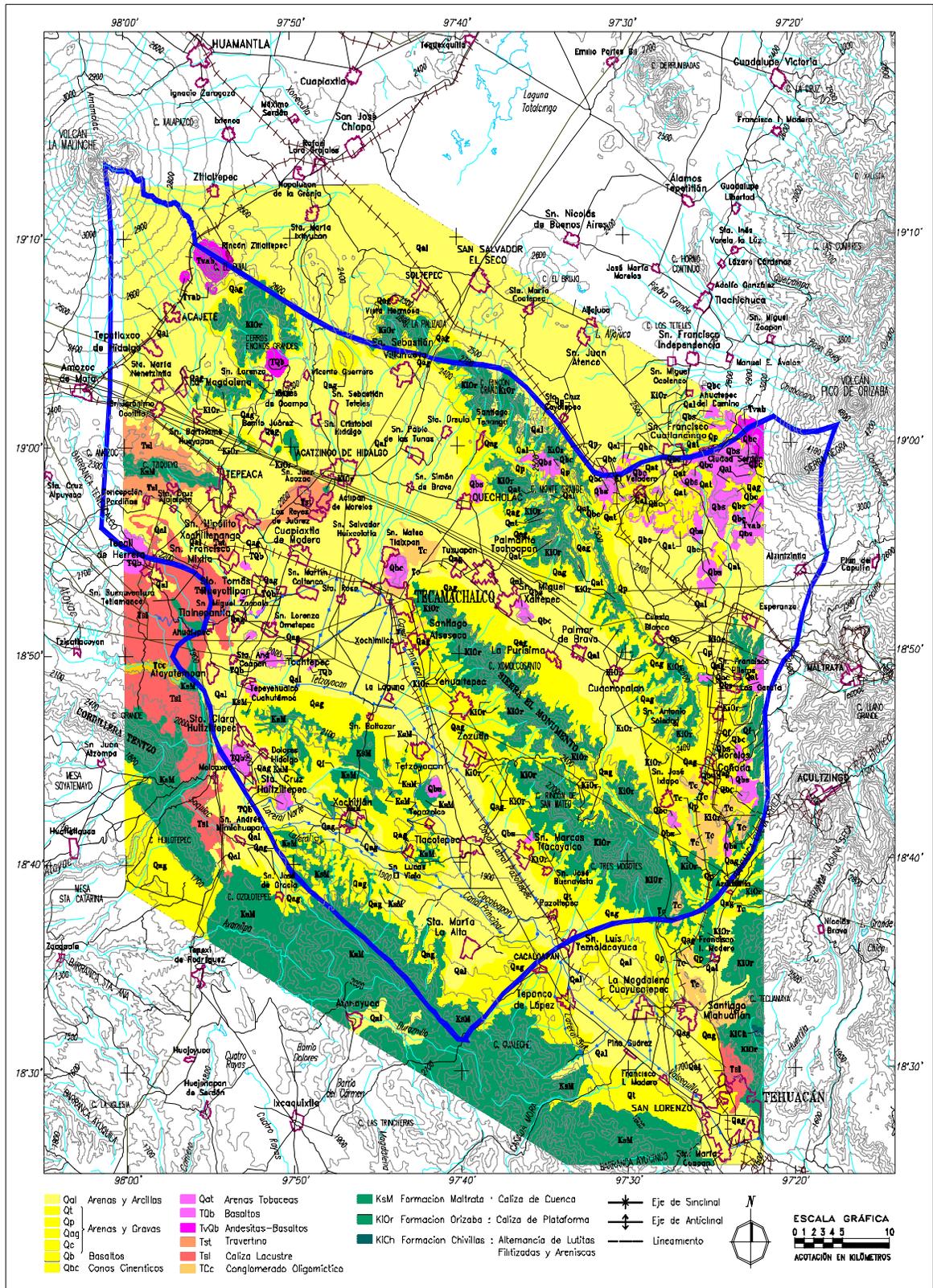
Las sierras que interrumpen los valles en ésta zona, están constituidas por rocas fuertemente plegadas de composición predominantemente calcárea, depositadas durante el transcurso del Cretácico Medio al Cretácico Superior.

Los conos volcánicos son escasos y aislados, los aparatos volcánicos más reconocidos los representan los cerros Techachales, localizados en la parte norte del poblado de Tecamachalco, Cerro Tepeyehualco, Cerro Zapotlán y Cerro Altamirano Chico, ubicados hacia el suroeste de la misma ciudad, por lo que regionalmente se localizan en la parte noroeste del Valle Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán; constituidos por rocas de composición basáltica, con elevaciones de 2,000 a 2,200 msnm y pendientes entre los 10° y 15°.

⁴ Cabe mencionar que la información referida en este apartado de Geología y Unidades Hidrogeológicas fue consultada y extraída de Estudios Técnicos hechos por el Área de Recursos Hidráulicos.

⁵ SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS. Delegación en el estado de Puebla. Estudio geohidrológico en el Distrito de Desarrollo Rural No. 116, 1989

⁶ CNA, Gerencia de Aguas subterráneas. Estudio de simulación hidrodinámica de Tecamachalco, Pue. 1999.



GEOLOGIA

Fig. No. 8 Geología superficial

En superficie, la columna estratigráfica de la región de Tecamachalco presenta un notable predominio de la secuencia marina del Cretácico Superior. Los eventos magmáticos del Mioceno-Holoceno, ocurridos en la región del Valle de Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán y Valle Palmar de Bravo-La Esperanza, cubren a escasos afloramientos de rocas sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior (Formaciones Orizaba y Maltrata).

Las rocas sedimentarias más antiguas reportadas en las inmediaciones de Tehuacán⁷. Corresponden a la Formación Chivillas un pequeño afloramiento de rocas clásticas a las que se les asignó el nombre de Rocas Precretácico Inferior, litológicamente corresponden a una secuencia de areniscas y lutitas interestratificadas, constituyendo la parte alta de la Sierra de Chivillas; se estima que sobreyacen discordantemente a las rocas metamórficas del Complejo Acatlán.

Estos materiales muestran evidencias de incipiente foliación y en conjunto definen un paquete del orden de 900 a 980 m de espesor. En términos generales, este potente paquete de rocas sedimentarias, presenta una gran compactación de sus granos y se encuentran cementados por carbonato de calcio, confiriendo a la formación una naturaleza impermeable.

El término de Formación Orizaba fue establecido para denominar a una potente secuencia de calizas de plataforma distribuida en la región de Orizaba, Ver., consistente en calizas que pueden ser divididas en facies arrecifal y facies subarrecifal. Consiste de un potente paquete de hasta 2,500 m de espesor. Los afloramientos de esta Unidad, se encuentran a lo largo de toda el área de estudio y forman el núcleo de las principales sierras.

Estratigráficamente este paquete calcáreo sobreyace concordantemente a los sedimentos detríticos de la Formación Chivillas y subyace concordantemente a las calizas de mar abierto de la Formación Maltrata, Desde el punto de vista geohidrológico, los sedimentos de la Formación Orizaba, presentan abundantes grietas y orificios de disolución ampliamente intercomunicados, condición que en conjunto permiten establecer que representan un importante medio para el desarrollo de acuíferos.

Otra unidad sedimentaria presente en el área de estudio es la Formación Maltrata que consiste de una secuencia de sedimentos calcáreo-arcillosos, microcristalinos, compactos, en capas de 20 a 40 cm de espesor.

Geohidrológicamente tiene las características de ser poco susceptible a contener y dejar transmitir fluidos intersticiales, por lo que debe ser considerada como una formación confinante para acuíferos dispuestos en niveles estratigráficos inferiores, tal como la Formación Orizaba.

⁷ GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Actualización geohidrológica de Tecamachalco. 1996

Dentro del Sistema Terciario se encuentra una potente secuencia de conglomerados polimícticos, formados principalmente por cantos redondeados de calizas, embebidos en una matriz areno-gravillenta y fuertemente cementados con carbonato de calcio, distribuidos únicamente hacia el sector suroriental del área en estudio, en las inmediaciones de la ciudad de Tehuacán, Pue., donde cubren local y discordantemente las calizas de la Formación Orizaba. Se considera que son materiales impermeables con poca continuidad en el subsuelo.

Correspondiendo a conos y derrames de composición basáltica expuestos en el sector centro-occidental del área del acuífero de Tecamachalco, específicamente en las vecindades del poblado de Tochtepec, Pue.

Están distribuidos en la parte meridional del área estudiada, representados por los cerros Zapotlán y Cristo Rey. Las rocas de composición basáltica, corresponden con conos de lava estratificada, con una cierta variación andesítica en su composición. Los basaltos están constituidos por un agregado de finos microcristales de plagioclasas cálcicas, con estructura compacta y masiva, presentan un fracturamiento intenso. Estas rocas están asociadas con brechas basálticas, producto del vulcanismo explosivo. Como consecuencia del intenso fracturamiento e intercalación con material escoriáceo, se estima que estos materiales presentan características para ser transmisores de agua hacia el subsuelo.

Existe también una secuencia de afloramientos de basaltos de olivino, con textura vesicular, cenizas volcánicas y escoria, formando conos cineríticos, que se localizan en la porción central y nororiental del área estudiada, siendo esta última la que presenta mayor continuidad en superficie, ya que forman parte integral del conjunto volcánico que bordea al Pico de Orizaba. La unidad consiste de flujos masivos de lava y estratovolcanes de composición basáltica, los que en las vecindades de Cd. Serdán, en las estribaciones del Pico de Orizaba, configuran un campo volcánico de 10 a 15 conos cineríticos y derrames basálticos que localmente llegan a presentar espesores de hasta de 100 m, cubriendo parcial y discordantemente a las calizas del Cretácico Medio y Superior. Otros afloramientos están representados en el cerro Techachales y los cerros adyacentes a la población de San Miguel Xaltepec. Por su fracturamiento, estos materiales pueden ser considerados como excelentes receptores y transmisores de aguas subterráneas hacia formaciones más profundas del subsuelo.

Sedimentos fluviales resientes rellenan zonas topográficamente bajas, principalmente en el valle del acuífero de Tecamachalco. El tamaño de los clastos varía dentro del rango de las gravas, gravillas, arenas y limos. Su espesor es sumamente variable y está en función de su cercanía con las porciones topográficamente elevadas.

El valle de Tecamachalco se encuentra predominantemente dentro del radio de influencia de la Faja Volcánica Transmexicana, y en una pequeña parte de la provincia

de la Sierra Madre del Sur, de manera que tienen relación con la actividad tectónica ocurrida en la historia geológica de ambas provincias.

Las estructuras, en el área de estudio, tienen una orientación general NW-SE y algunos de los ejes de éstas al norte del área son cortados y desplazados por fallas. Las rocas cretácicas están cubiertas por derrames volcánicos en algunas partes.

Funcionamiento del sistema acuífero

Las recargas naturales que alimentan al acuífero provienen principalmente de agua de lluvia que se presenta en toda el área de estudio, a través de infiltración vertical. La lluvia que se infiltra en las partes altas del área, posteriormente se adiciona como flujos subterráneos horizontales que se presentan principalmente en las zonas norte y oeste del acuífero Valle de Tecamachalco, además de la Sierra del Monumento. De acuerdo a lo anterior se puede resumir que la recarga natural queda constituida por la recarga vertical producida por la infiltración de la lluvia y la recarga por flujo horizontal subterráneo, esta última se muestra en las figuras 13 a 16.

Otra componente importante de la recarga al acuífero la constituye la originada por la infiltración de agua utilizada en los sistemas y áreas de riego y por las fugas en las tuberías de distribución de los sistemas de abastecimiento a núcleos urbanos. Las recargas inducidas por el uso del agua de riego comprenden las provenientes de agua subterránea y por las aguas superficiales provenientes del Distrito de Riego que son almacenadas y controladas a través de la presa Manuel Ávila Camacho.

El acuífero de Tecamachalco también es alimentado por agua de lluvia y por flujos subterráneos horizontales que en parte tienen su origen en el agua de lluvia que se infiltra en las partes altas de la zona de estudio y posiblemente por agua subterránea que se “fuga” por la parte sur del acuífero denominado “Oriental”, básicamente a través de la sierra de Soltepec.

Por otro lado el acuífero presenta salidas de agua, las cuales se realizan prácticamente en forma de bombeo y una parte por medio de flujos horizontales subterráneos, localizados principalmente hacia los límites de la zona sur del acuífero, en el valle denominado Tecamachalco-Tehuacán, con dos componentes, una parte a través de la cordillera Tenzo y del Cordón La Cuesta y otra parte hacia la zona de Tehucán. Es importante hacer mención que en la región cubierta por el acuífero de Tecamachalco, no existen ríos de importancia que alimenten al acuífero o viceversa, es decir no hay flujos base de importancia en la región, asimismo no existen efectos de la evapotranspiración sobre el acuífero en la zona de estudio, debido a profundidades someras de sus niveles estáticos.

Las descargas por manantiales en esta zona son muy bajas, particularmente si se comparan con las que son originadas al sur de esta zona, es decir hacia Tehuacán, las

que por cierto han descendido considerablemente. Además las descargas de los manantiales en la zona de estudio son poco significativas comparadas con los volúmenes de bombeo que se realizan principalmente por medio de pozos.

Actualmente el acuífero de Tecamachalco se encuentra sobreexplotado por el bombeo que se efectúa en esta región el cual es superior a la recarga total del acuífero, dicho fenómeno se puede observar a través de los descensos de los niveles estáticos de la región, así como una posible disminución de las salidas por flujo subterráneo hacia Tehuacán.

Desde el punto de vista geológico actualmente el acuífero es explotado básicamente con agua contenida en las formaciones granulares del cuaternario y parte de las formaciones del Terciario, en calizas lacustres y en una pequeña proporción es posible que sea explotado con aguas subterráneas alojadas en las formaciones calizas denominadas Orizaba y Maltrata.

Caracterización de los aprovechamientos e hidrometría

Los aprovechamientos de agua subterránea tienen una profundidad de 112 m en promedio, diámetro del ademe de 12" y una longitud de la columna de 85 m, con un diámetro de descarga de 5" en promedio. En tanto que las norias tienen en promedio 34 m de profundidad, un diámetro de excavación de 1.40 m y 3" de diámetro de descarga en la bomba.

Desde luego es conveniente aclarar que los datos anteriores fueron obtenidos del censo de aprovechamientos que data del año de 1999.

Usos del Agua

La base del censo de aprovechamientos de agua subterránea que se dispone actualmente de la región dentro de la cual se encuentra el acuífero, incluye información de extracciones de agua subterránea obtenida durante el censo del año 1996 correspondiente a las zonas I Amozoc-Acatzingo, II Tepeaca-Hueyotlipan y III Atoyatempan-Primera Unidad, que a su vez fue utilizada en el "Estudio de simulación hidrodinámica del acuífero de Tecamachalco, Pue." realizado el año de 1999.

Tabla No. 2 Censo de aprovechamientos localizados en el acuífero de Tecamachalco, Pue. (1999)

Uso	Pozos	Norias	Manantiales	Galerías filtrantes	Sin tipo de obra	Total aprovechamientos
Agrícola	758	51		3		812
Público Urbano	199	14	3			216
Doméstico	6	35				41
Industrial	8	0				8
Ganadero	33	10				43
Avícola	11					11
Pecuario	0					0
Sin uso y otros	108	55			48	211
Total	1,123	165	3	3	48	1,342

De acuerdo a la información consultada, dentro del área del acuífero y después de seleccionar a los aprovechamientos activos, es decir, que estuvieran operando, sin considerar a los que se encontraban en proceso de construcción, secos, azolvados o inactivos, así como los que no tenían coordenadas y por tanto que se desconoce su localización, se obtuvo un total de 1,102 aprovechamientos activos, de los cuales sólo 490 cuentan con dato de volumen de extracción anual de agua subterránea estimada en 1996, al resto de los pozos se les calculó dicho volumen a través del uso y diámetro de descarga; la extracción total de agua extraída del acuífero de Tecamachalco, de acuerdo con los anterior y mediante todos los aprovechamientos, se estimó en 325.6 hm³/año como se indica en la Tabla 3.

En cuanto a las norias activas son del orden de 112, de los cuales sólo 16 presentan dato de extracción de agua con un total de 2.2 hm³/año, sin embargo esta extracción comparada con la correspondiente a los pozos no es significativa, así como la de los 3 manantiales y 3 galerías filtrantes que se localizan dentro del área de estudio. En la Figura 7 se puede observar un plano con la localización de los aprovechamientos activos. En general los mayores volúmenes de extracción son destinados al uso agrícola y son del orden de 284.6 hm³/año.

Tabla No. 3 Número de pozos activos, usos y extracciones de agua subterránea (censo 1999)

Uso	Pozos	Norias	Manantiales	Galerías filtrantes	Sin Tipo de obra	Total aprovechamientos	Volumen de extracción m ³ /año
Agrícola	677	43		2		722	284,592,221
Público Urbano	161	9	3			173	18,271,497
Doméstico	5	28				33	188,739
Industrial	4	0				4	768,462
Ganadero	29	10				39	3,828,269
Avícola	11	0				11	481,042
Otros	50	22			48	120	17,444,652
Total	937	112	3	2	48	1,102	325,574,882

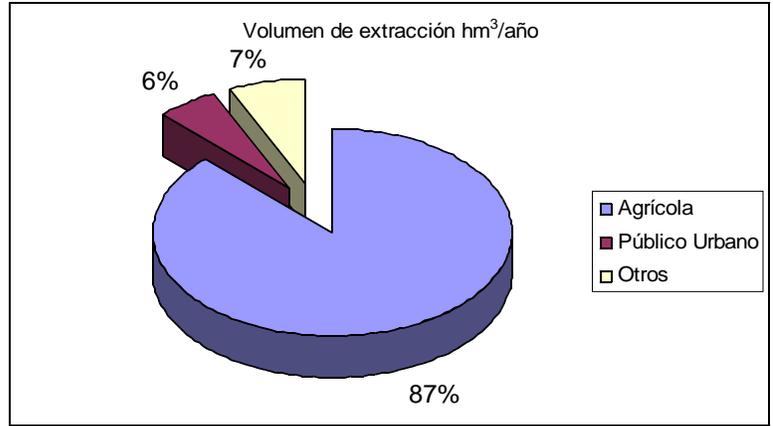


Figura No. 9 Distribución de la extracción por usos

Respecto al Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), se cuenta con dos bases de datos al 31 de enero de 2003, que se resumen en la Tabla 4.

Tabla No. 4 Volumen concesionado al 31 de enero de 2003

Uso	Total acuífero Tecamachalco		27 municipios	
	Volumen hm³/año	Número de concesiones	Volumen hm³/año	Número de concesiones
Agrícola	161.7	981	154.3	929
Doméstico	0.0	11	0.0	5
Servicios	0.1	5	0.1	5
Industrial	1.4	24	1.4	24
Pecuario	1.9	55	1.6	40
Público urbano	26.2	221	24.6	208
Múltiples	2.7	46	2.4	38
TOTAL	194.1	1 343	184.5	1 249

El Registro Público de Derechos del Agua (REPGA), comprende 50 municipios asignados para el valle de Tecamachalco. Para esta zona se tienen registrados 1343 aprovechamientos, valor muy semejante el considerado en el censo de 1996. Para los 27 municipios considerados dentro del valle de Tecamachalco, la extracción concesionada es de unos 184 hm³/año.

Una base interesante lo representan los contratos que tiene la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para el sector agrícola. Según reportes de la CFE, del total de las concesiones para uso agrícola otorgadas por la CNA (929), solo el 50 % tiene su contrato de energía en regla (548), lo que significa que los agricultores están en peligro de perder este subsidio.⁸

⁸ CNA. Gerencia Estatal en Puebla. 2003.

Comportamiento piezométrico⁹

Con base a la información disponible de censos y de sondeos de niveles estáticos y dinámicos en pozos localizados en el acuífero Valle de Tecamachalco, Pue., a continuación se realiza un análisis para tener una idea de profundidades de los niveles del agua.

De información del año de 1988 la profundidad promedio de los niveles estáticos para un total de 109 pozos reportados en el año de 1996 era del orden de 33.7 m y de acuerdo a la base de 114 pozos piloto del mismo año dentro de los límites del acuífero, el promedio de los niveles estáticos fue de 36.4 m. La profundidad promedio del nivel dinámico para el año de 1988 con base a 118 pozos era de 50 m.

De datos del año 1996 correspondientes a las zonas denominadas I Amozoc-Acatzingo, II Tepeaca-Hueyotlipan y III Atoyatempan-Primera Unidad, el promedio del nivel estático con base a 163 pozos que disponían de dato fue de 47.1 m y un nivel dinámico promedio de 58 m pertenecientes a 249 pozos. El promedio del caudal instantáneo, obtenido a través de 153 pozos fue de 23 l/s. De acuerdo a lo anterior el caudal específico del acuífero explotado es del orden de 2 lps/m.

Del último censo disponible, considerado en el modelo del año de 1999, se obtiene que el acuífero es explotado a través de 937 pozos activos, de los cuales sólo 310 cuentan con datos de profundidad total con un promedio de 110 m, entre ellos, 138 aprovechamientos presentan profundidades mayores a 100 m y con un promedio total de perforación del orden de 140 m; asimismo, el diámetro promedio de ademe en 102 pozos que cuentan con dato varía de 10 cm a 46 cm con promedio de 35.6 cm. En cuanto al promedio de gastos instantáneos, reportados en el censo para 150 pozos, es de 23 l/s.

A continuación se indican los valores promedio de los niveles de agua para el período 1997-2002. De acuerdo con la información de lecturas de niveles estáticos realizado en el año de 1997 en 33 pozos piloto el promedio del nivel estático fue de 47.9 m; para el año 2000 el promedio fue de 49 m y para el año 2002 el valor promedio del nivel estático es de 50.0 obtenido en los mismos pozos piloto.

En relación al abatimiento promedio de los niveles estáticos, obtenidos como un promedio aritmético, de 1988 al 2002, es de 1.0 m/año, aunque en los últimos años parece que se muestra disminución de la velocidad de abatimiento.

⁹ El contenido de este apartado, se sustento de información consultada que da cuenta de los registros de niveles, así como las estimaciones mencionadas en los párrafos mencionados. Es decir, fue información ya elaborada por las autoridades previamente, y que se retomaron solo los datos más relevantes para este estudio.

Considerando que en el año de 1988 la diferencia de niveles entre el estático y dinámico era de 16.3 m y que el nivel estático en el año 2002 es de 50.0 m, se estima que el valor del nivel dinámico al año 2002 es del orden de 66.3 m de profundidad. Por otro lado si se considera el nivel dinámico de 1988 y se aplica el abatimiento regional durante un período de 14 años entonces el nivel dinámico actual sería del orden de 63.6 m valor semejante al calculado anteriormente.

Desafortunadamente de los censos de aprovechamientos subterráneos y de la información disponible, previamente consultada no existen en forma histórica valores de niveles estáticos, dinámicos y de gastos instantáneos para los mismos pozos, sin embargo, de la información disponible para el año de 1988 se cuenta con esa información para 94 pozos, cuyos promedios son: nivel estático 33.1 m, nivel dinámico 48.9 y gasto promedio instantáneo 31 l/s, lo que resulta una capacidad específica del orden de 2 lps/m. De lo anterior se desprende que prácticamente los promedios de niveles son semejantes a los ya enunciados.

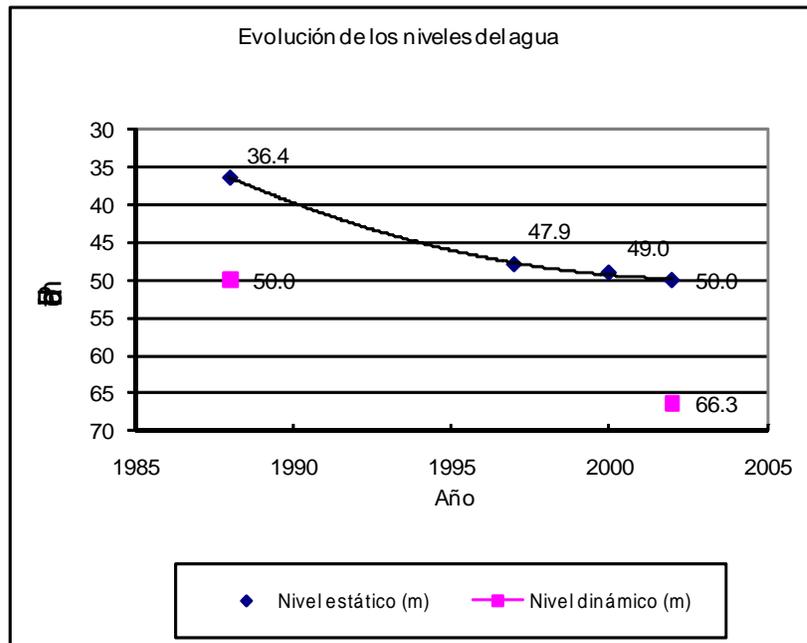


Figura No. 10 Evolución piezométrica durante el periodo 1988-2002

Con base a la información consultada de los censos efectuados en áreas que cubren la región donde se localiza el acuífero de Tecamachalco, que comprende a 27 municipios del estado de Puebla.

Para determinar el total de extracciones por año se considero la división por zonas efectuadas en estudios anteriores, a través de las cuales se obtuvieron inicialmente las extracciones de agua subterránea (I. Amozoc-Acatzingo, II. Tepeaca-Hueyotlipan, III. Atoyatempan-Primera Unidad, IV. Molcaxac-2ª. Unidad, V. Acatzingo-3ª Unidad, VI. Valle de Palmar de Bravo y VII, Esperanza y Cañada- Morelos), posteriormente se

seleccionaron los aprovechamientos que disponían de datos de extracción anual de agua subterránea y los que no contaban con estos datos se les estimó utilizando los promedios de extracción por uso y diámetro de descarga de pozos con extracción conocida, asimismo, para el año de 1996 los pozos localizados en las zonas que no contaban con información de extracción se les estimó por interpolación utilizando los datos de 1988 y del año 2000. Dichas estimaciones se efectuaron de esa forma debido a que no se tiene una información completa de las extracciones realizadas en forma sistemática y general en toda el área del acuífero, que permita conocer la forma de explotación del acuífero a través del tiempo.

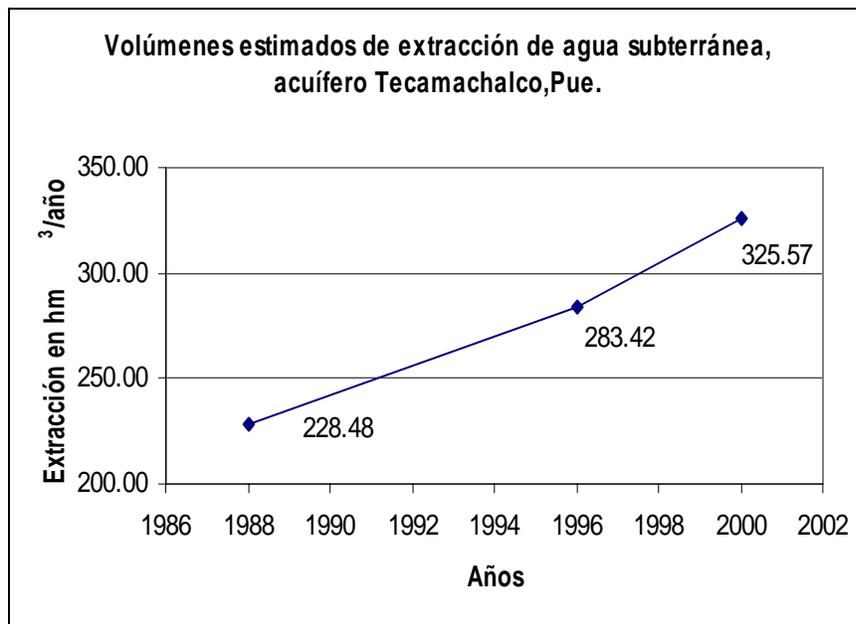


Figura No. 11 Extracción histórica de agua subterránea

El comportamiento de los niveles de agua subterránea de la región donde se localiza el acuífero de Tecamachalco, Pue., y que incluye a las zonas de Palmar de Bravo, Valle de Esperanza y el Distrito de Riego No. 30, han sido observados prácticamente desde el año 1974, a través de mediciones de los niveles estáticos en aprovechamientos subterráneos. Los aprovechamientos seleccionados para obtener los niveles piezométricos han variado en el tiempo y en ocasiones se desconoce cuáles fueron, contando en algunos casos con sólo las configuraciones elaboradas en esas épocas.

Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación de los niveles estáticos del acuífero de Tecamachalco, Pue., más antigua y representativa que se dispone, corresponde al año de 1974 e indicada en la Figura 12, la cual muestra que para ese año, en el valle de Esperanza, se presentaba una recarga proveniente de la sierra Negra; el flujo de agua subterránea seguía una trayectoria de sentido NE-SW, desde las estribaciones

de la sierra Negra, hasta las estribaciones de los plegamientos de calizas que dividen a este valle con el del Palmar de Bravo. Se observó para esa época que en las inmediaciones del poblado de San Francisco Piletas se formó un cono de abatimiento; asimismo, el flujo subterráneo continuaba su curso entre los cerros Cimarrón y Pachón, en forma semejante a las corrientes superficiales, en sentido norte a sur hacia la zona de Cañada Morelos, para posteriormente seguir su curso hacia el sur hasta Santiago Miahuatlán, lugar donde converge con otros flujos subterráneos provenientes de Tecamachalco.

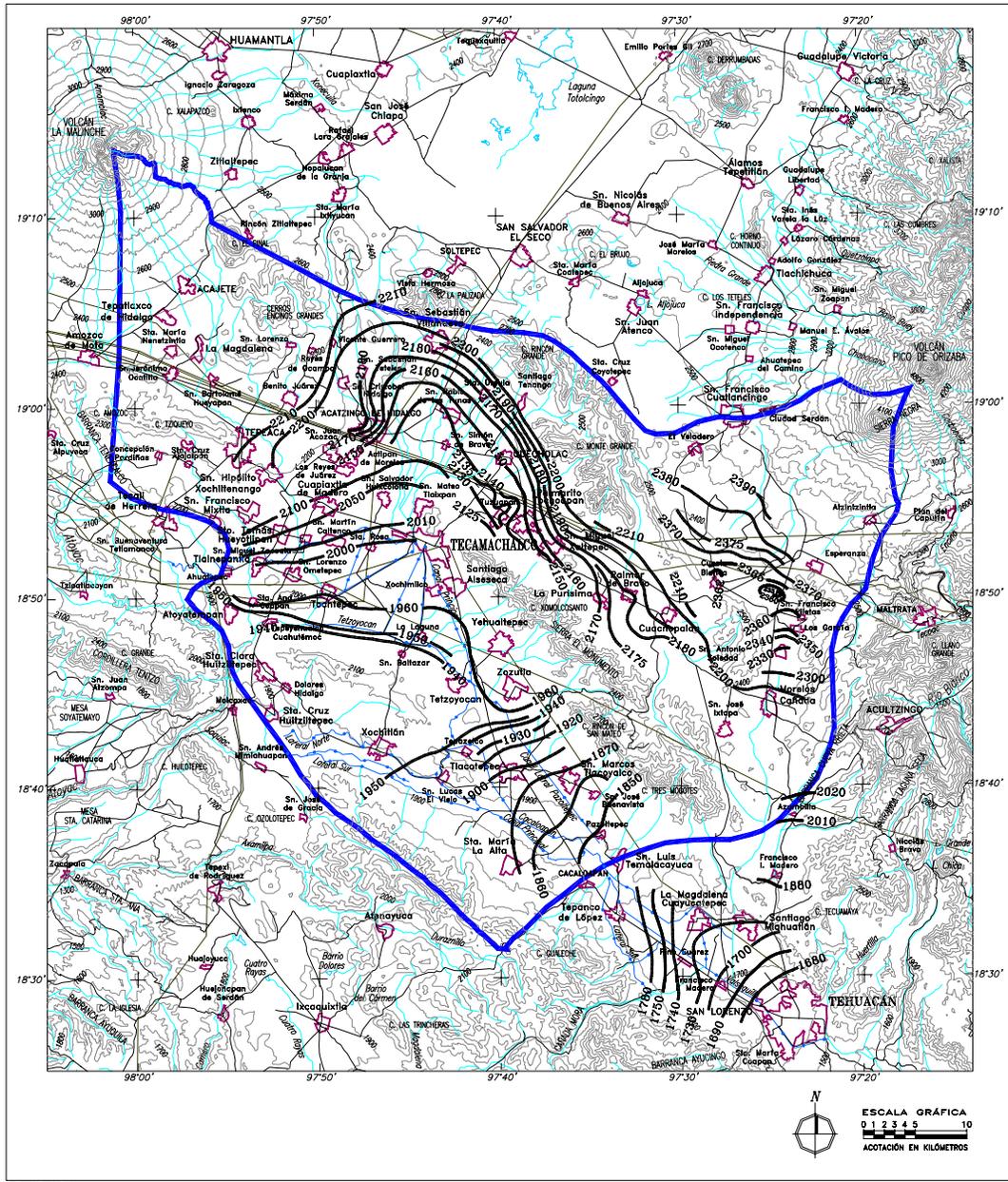


Figura No. 12 Curvas de igual elevación del nivel estático 1974

La Figura 13 de curvas de igual elevación del nivel estático del año 1978 muestra en términos generales que las direcciones del flujo del agua subterránea son semejantes a las del año 1974; sin embargo, en la zona ubicada al sureste de Tecamachalco y comprendida entre Tetzoyucan y Cacaloapan los flujos de agua subterránea presentan una dirección más marcada hacia la sierra Tetzoyucan, cordón la Cuesta y Sierra de Zapotitlán lo cual se traduce en una fuga de agua subterránea, principalmente hacia el cordón La Cuesta y la sierra de Zapotitlán. Asimismo los valores de las curvas presentan algunos cambios, denotando en algunas zonas abatimientos de los niveles estáticos, particularmente hacia la zona de Valle de Palmar de Bravo y Tepeaca-Tecamachalco, y en otros zonas del acuífero denota recuperaciones de los niveles estáticos.

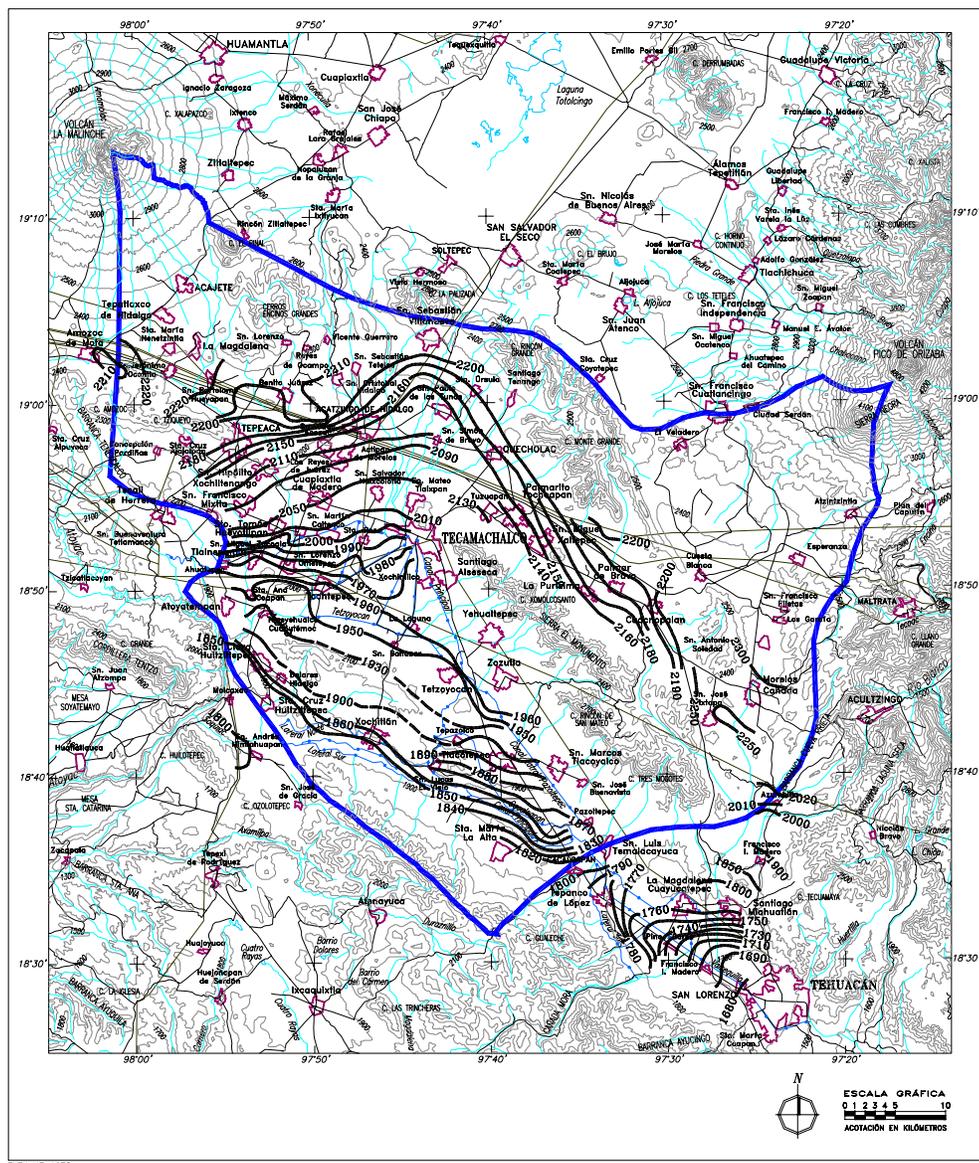


Figura No. 13 Curvas de igual elevación del nivel estático 1978

La configuración de curvas de igual elevación del nivel estático del año de 1988 mostrada en la Figura 14, indica en términos generales que las recargas y flujos de agua subterránea en toda la región son semejantes a las del año 1974; sin embargo, se pueden distinguir algunos cambios, como el hecho de que en el valle de Esperanza, no se aprecia el cono de abatimiento en la zona de San Francisco Piletas y de Cuesta Blanca, debido probablemente a una escasa información de datos de niveles de agua de esta área, obtenidos durante 1988. En la Segunda Unidad de Riego, por un lado, se presenta una componente de flujo de agua subterránea que se dirige hacia las estribaciones de la Sierra de Zapotitlán, y por otro lado, un flujo que se dirige hacia la Tercera Unidad de riego donde la trayectoria del agua subterránea presenta una dirección noroeste-suroeste, semejante a las condiciones del año de 1974.

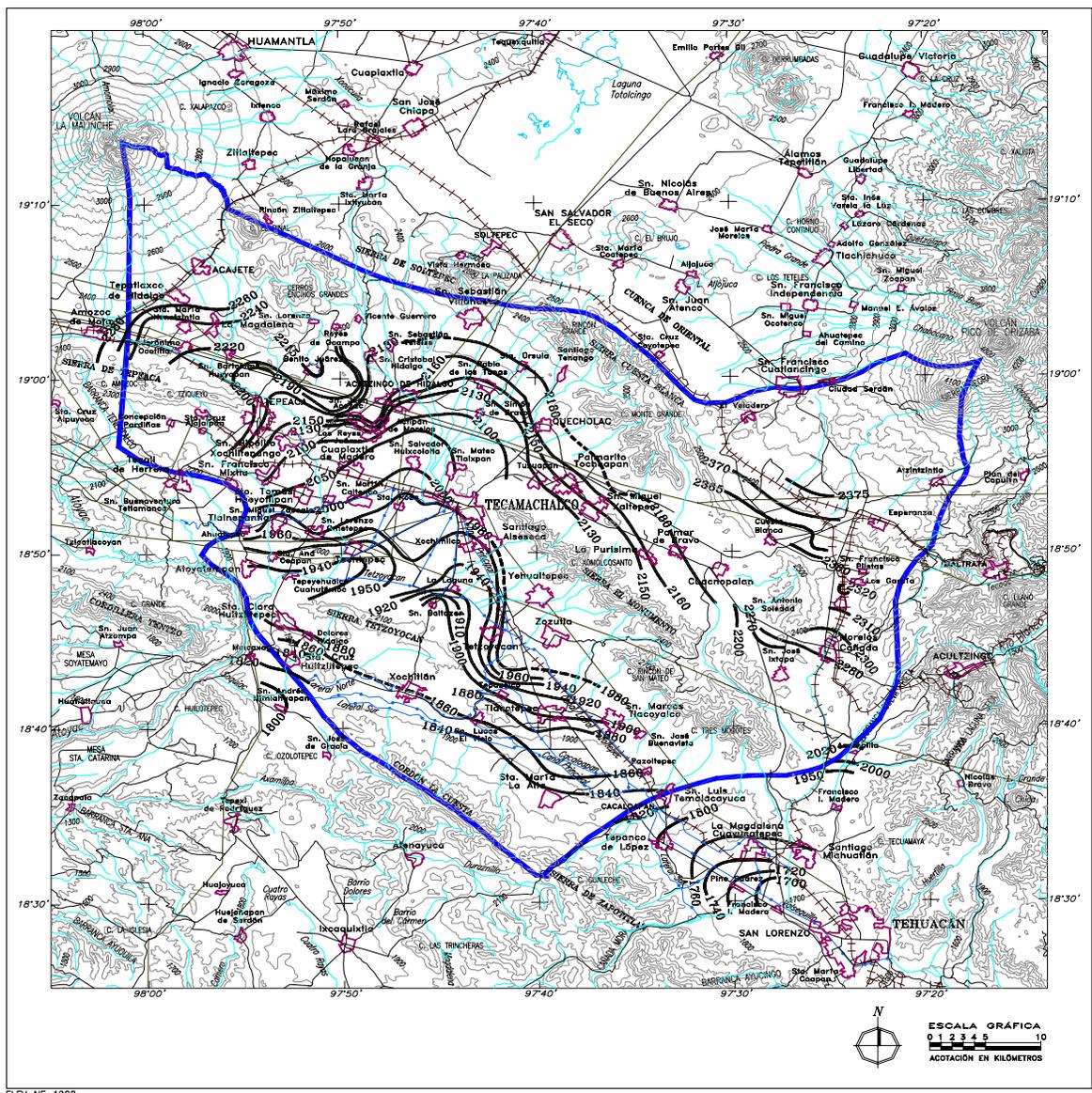


Figura No. 14 Curvas de igual elevación del nivel estático 1988

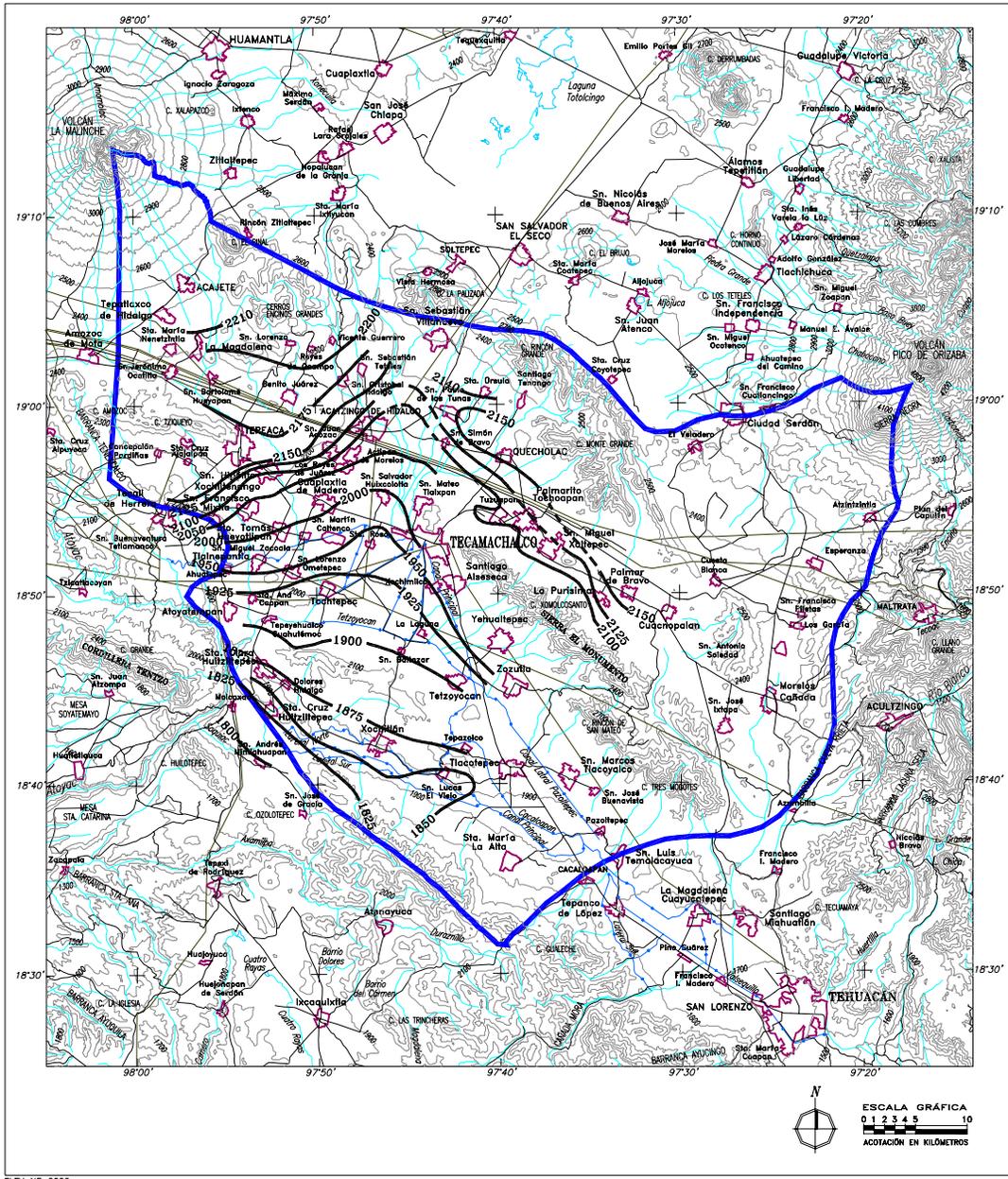


Figura No. 15 Curvas de igual elevación del nivel estático 2002

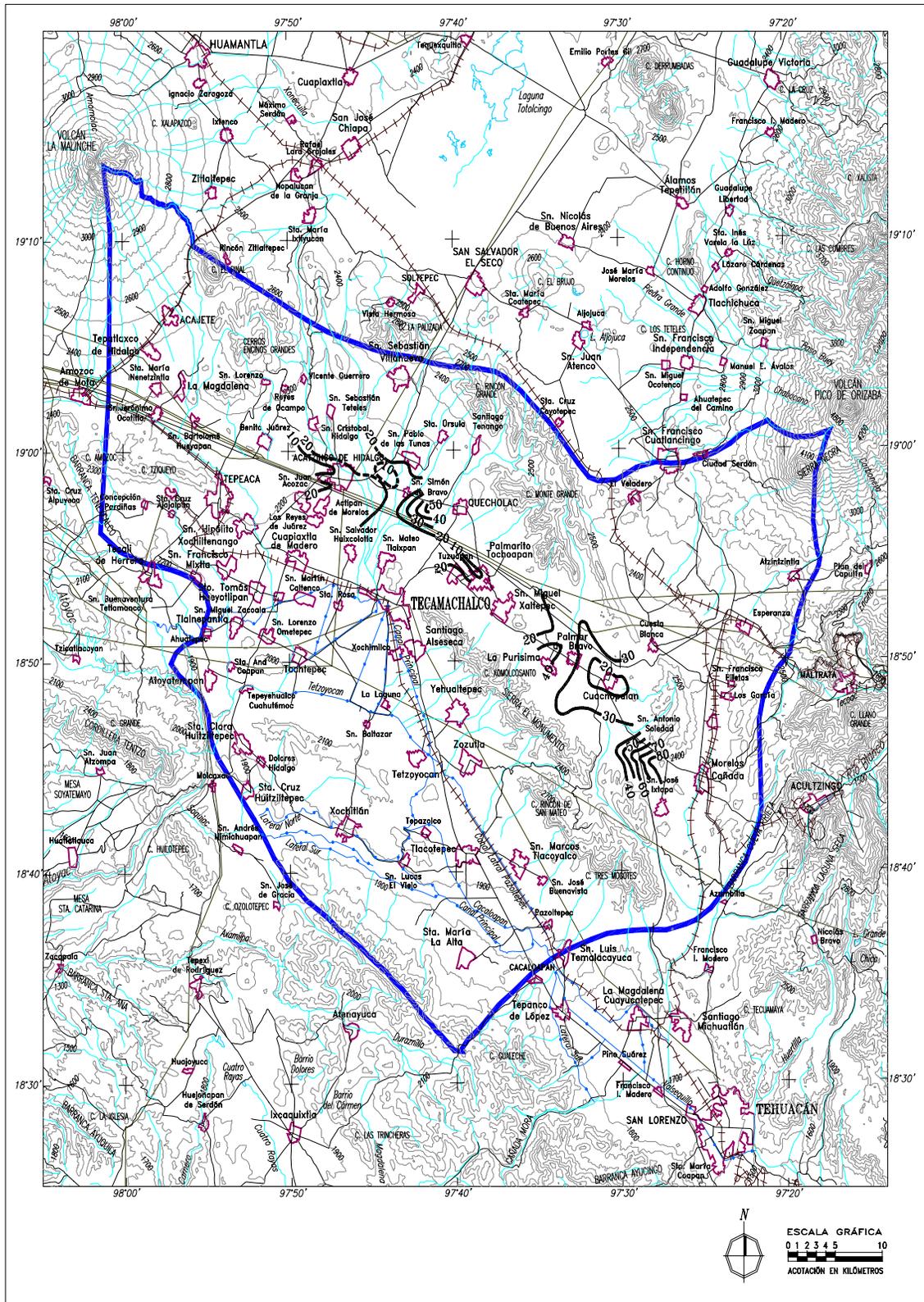
Profundidad del nivel estático

En el estudio de 1974 realizado se señala que en el valle de Esperanza presentaban la siguiente situación “las profundidades del nivel estático varían en lo que puede considerarse como planicie, entre 5 y 90 m aunque en las zonas topográficas más accidentadas de la porción norte, se observan profundidades que alcanzan los 140 m con respecto al terreno”, “siendo la profundidad media del orden de 35 a 40 m”, “a la altura del poblado de García y sus inmediaciones, la profundidad de los niveles estáticos es menor, oscilando entre 5 y 20 m, con una media de 10 m”. Respecto al

valle de Palmar de Bravo se indica que excepto en la porción noroccidental de este valle se aprecia “que la profundidad de los niveles estáticos es mayor en las estribaciones de las sierras que confinan a la planicie, que oscilan entre 40 y 50 m, en tanto que la profundidad media en la planicie es del orden de 20 m”.

En la Figura 16 se expone la configuración de las curvas de igual profundidad del nivel estático para el año 1979 y que básicamente contiene información del valle de Palmar de Bravo. En términos generales se observa que en este valle, desde Cuacnopalan hasta Acatzingo de Hidalgo, las profundidades de los niveles de agua subterránea variaban entre 10 a 30 m, a excepción del área donde se localiza el poblado de Quecholac donde dichas profundidades oscilaban entre 40-50 m; asimismo, existe una pequeña zona en las cercanías del poblado de San José Ixtapa, localizada al poniente de Cañada Morelos, donde las profundidades del nivel estático se encontraban entre 60 a 80 m. De acuerdo a lo anterior se puede observar que para el año 1979 en el valle de Palmar de Bravo se encontraba dentro de los márgenes aceptables de explotación, desde el punto de vista económico, tanto por los costos de energía eléctrica como por los costos de operación y mantenimiento.

La Figura 17 de curvas de igual profundidad del nivel estático del año 1988 muestra la distribución de dichas profundidades en los valles de Esperanza, Palmar de Bravo y el de Tepeaca-Tecamachalco-Tehuacán. Para el valle de Esperanza las profundidades promedio oscilaban entre 20 y 50 m, con algunos valores del orden de 10 m al norte de San Antonio Soledad, asimismo, se presentan para ese año, valores máximos del orden de 80 m hacia el norte del poblado de Esperanza. En el área comprendida entre Cuacnopalan hasta Acatzingo de Hidalgo los niveles estáticos de agua subterránea se encontraban establecidos entre 25 a 50 m, con un máximo local de 70 m detectado al pie de la Sierra Soltepec y hacia el poblado de General Felipe Ángeles. Es importante apuntar que en las inmediaciones del poblado de Quecholac, las profundidades de los niveles de agua para el año de 1988 se hallaban alrededor de los 30 m, a diferencia de los consignados en el año de 1979, donde de acuerdo a la información de ese año se encontraron en forma local a 50 m; al respecto, se considera que por la distribución de dichos niveles en forma regional, posiblemente correspondía a algún nivel dinámico. En la zona de Tepeaca-Tecamachalco y hasta las inmediaciones del poblado de Tlacotepec de Benito Juárez se observa que las profundidades del agua subterránea variaban entre 10 y 50 m, con algunas excepciones, como es el caso del área ubicada al hacia el norte de Santiago Acatlan y hacia las faldas del volcán de La Malinche, donde se presentaron valores mayores de 70 m y un máximo de 130 m en el poblado de San Agustín Tlaxco, situación básicamente provocada por la topografía del terreno. En la zona comprendida al sur del poblado de Tepanco, en la 3ª. Unidad de Riego, las profundidades fueron de 5 a 30 m, lo que denota que esa parte del acuífero debe de estar en una situación cercana al equilibrio o con una baja sobreexplotación.



PROF._NE_1979

Figura No. 16 Curvas de igual profundidad del nivel estático 1979

La configuración de curvas de igual profundidad del nivel estático para el año 2002, se muestra en la Figura 18 donde se aprecia que en la zona de Palmar de Bravo las profundidades máximas varían de 40 a 65 m; en la zona localizada al norte de Acatzingo de Hidalgo los valores de las profundidades del nivel estático varían de 50 a 70 m, estas últimas en los alrededores de San Sebastián Teteles, mientras que hacia las faldas del volcán de La Malinche se tienen profundidades de 100 a 135 m; en el área de Tepeaca los niveles estáticos se encuentran a profundidades del orden de 40 a 60 m, y hacia el sur de esta población descienden hasta valores cercanos a 20 m; en la zona de Tecamachalco y al sur de esta población los niveles estáticos se encuentran entre 50 y 60 m, valores máximos del orden de 70 m se localizan en San Lorenzo Ometepec en el municipio de Tochtepec, de 78 m en San Gabriel Tetzoyocan del municipio de Yehualtepec y de 85 m en la Col. Benito Juárez municipio de Tlacotepec; valores de 30 a 40 m se localizan en los alrededores de Santa Cruz Huitziltepec municipio de Molcaxac y de 20 m en el poblado de Santa Ana Coapa municipio de Santa Clara Huitziltepec.

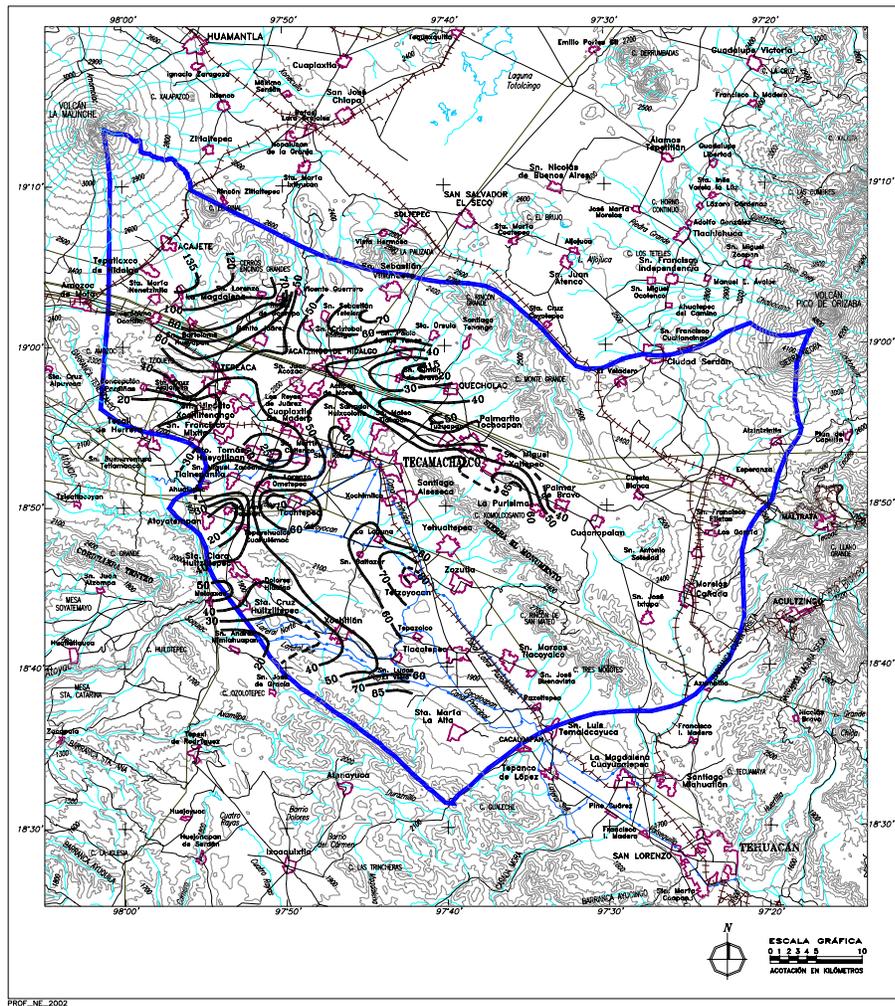


Figura No. 18 Curvas de igual profundidad del nivel estático 2002

Evolución del nivel estático

Para conocer la variación de los niveles estáticos en el acuífero de Tecamachalco, Pue., se consultaron diversas configuraciones de la evolución de los niveles del agua para diferentes períodos. La Figura 19 muestra la evolución para el período 74-88; en ella se observa que en el valle de Esperanza no existen variaciones significativas del nivel estático del acuífero, ya que estas son mínimas y del orden de hasta - 5 m en ese período.

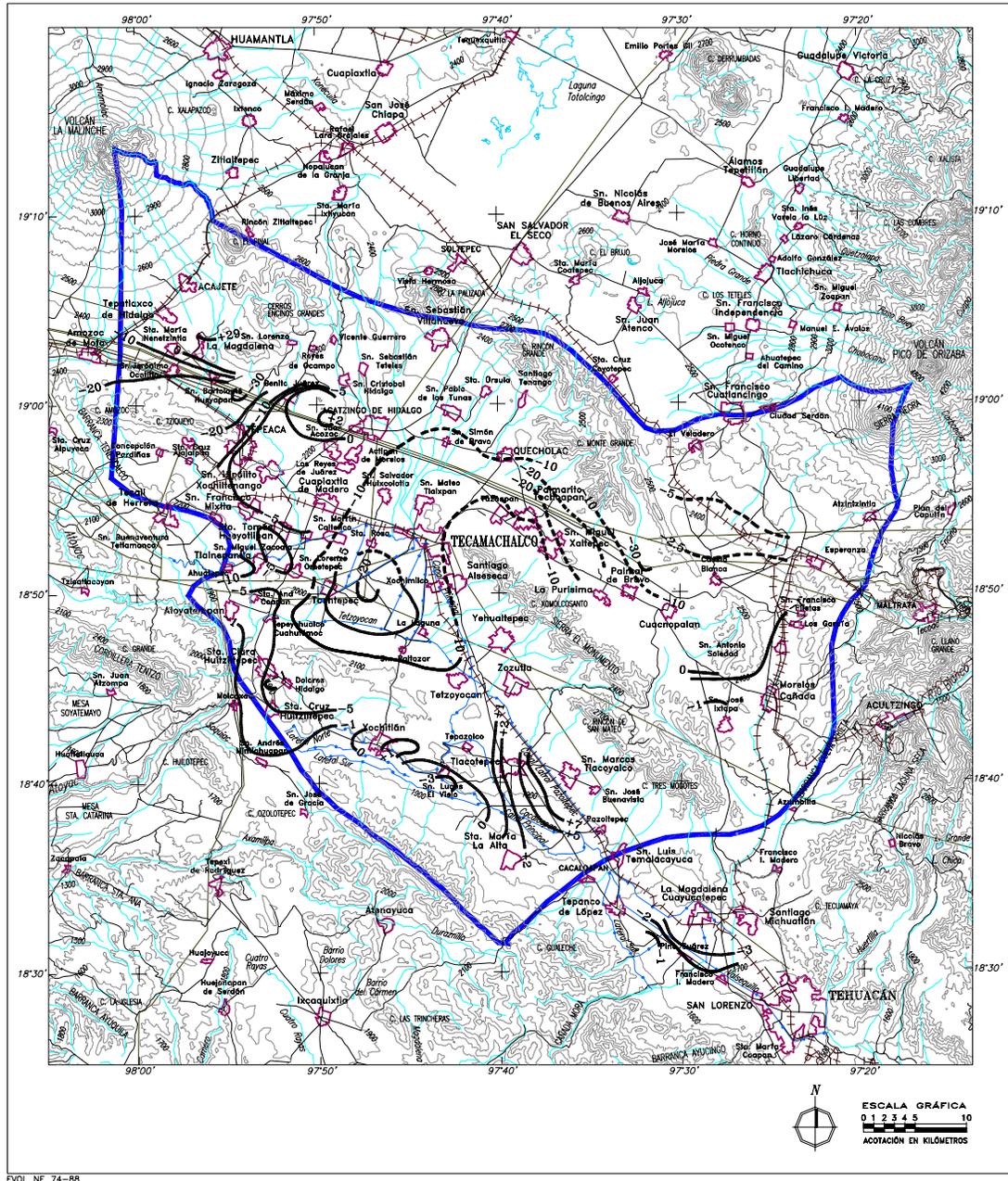


Figura No. 19 Curvas de igual evolución del nivel estático 1974-88

En el valle de Palmar de Bravo las variaciones de los niveles presentan abatimientos de -10 a -20 m con un valor puntual del orden de -30 m, por lo que en este valle el abatimiento promedio es de aproximadamente -1.2 m/año. En la zona ubicada al noroeste de la población de Tepeaca se presentaron también abatimientos de los niveles piezométricos de -10 a -30 m, este último valor en forma puntual, por otro lado, se puede observar, que en los alrededores de Acatzingo de Hidalgo se presentó una recuperación del nivel del orden de +2 m. En el área de Tecamachalco, que incluye a la Primera Unidad de Riego, se aprecia un cono de abatimiento de los niveles estáticos en cuyo centro se tuvo un valor de -20 m localizado entre las poblaciones de Tochtepec y Xochimilco, ubicadas al suroeste de Tecamachalco; dicho cono se extiende a sus alrededores con valor de -10 m hacia las faldas de la sierra de Tetzoyucan así como hacia los poblados de San Salvador Hixcolotla, Martín Caltenco, Santiago Alseseca y cercanías de Yehualtepec. En lo que es propiamente la Segunda Unidad de Riego, los cambios de los niveles piezométricos oscilaron para ese período entre abatimientos y recuperaciones con valores máximos de -5 m y +7 m respectivamente, asimismo, la zona comprendida en la Tercera Unidad de riego presentó valores máximos de abatimiento del orden de -3 m, lo que denotó para esa época, que prácticamente estas dos Unidades se encontraban en equilibrio o con una sobreexplotación muy incipiente.

De acuerdo con la configuración de curvas de igual evolución del nivel estático 1997-2000, Figura 20, se observa que el acuífero presenta abatimientos del nivel estático en forma generalizada; en el valle de Palmar de Bravo los descensos alcanzan, para este período, valores de hasta -2.0 m en los alrededores de las poblaciones San Miguel Xaltepec-Palmar de Bravo-Cuacnopalan, en el valle de Tepeaca-Tecamachalco los valores máximos son del orden de -3.0 m entre las poblaciones de Tepeaca y Acatzingo, en el valle de Esperanza no se tiene información para este período.

De lo anterior se deduce la necesidad de tomar medidas inmediatas para evitar continuar con la sobreexplotación, la cual puede llegar a generalizarse en forma más alarmante e incrementar las consecuencias actuales, que son provocadas por el minado de los acuíferos, como son entre otros abatimientos de los niveles estáticos y por consecuencia incremento del costo por pagos de energía eléctrica, gastos de recuperación, rehabilitaciones de pozos, entre otros.

Calidad del agua subterránea

De los análisis físico-químicos efectuados a muestras obtenidas en el área de Tepeaca y del Distrito de Riego de Valsequillo, durante el año de 1974, se obtuvieron resultados de los cationes de sodio, calcio y magnesio. El sodio varió de 1 a 731 ppm, con promedio de 155 ppm; en orden de importancia sigue el calcio, con una concentración que varió entre 11 a 258 ppm, con promedio de 61 ppm; respecto al magnesio sus concentraciones variaron entre 2 a 86 ppm, con un promedio de 36 ppm. Los aniones principales determinados fueron: cloruros, sulfatos y bicarbonatos;

las concentraciones para el bicarbonato variaron de 83 a 2 098 ppm, mientras que las concentraciones de sulfatos variaron de 3 a 650 ppm y las de los cloruros de 4 a 518 ppm. Las cantidades de sólidos totales disueltos variaron de 114 a 2 220 con un promedio de 798 ppm. De acuerdo a los resultados de los análisis el agua subterránea se consideró en esa época de buena calidad para agua potable en toda el área estudiada, a excepción de pequeñas zonas localizada en la Tercera Unidad del Distrito de Riego; asimismo para el riego el agua resultó de buena calidad.

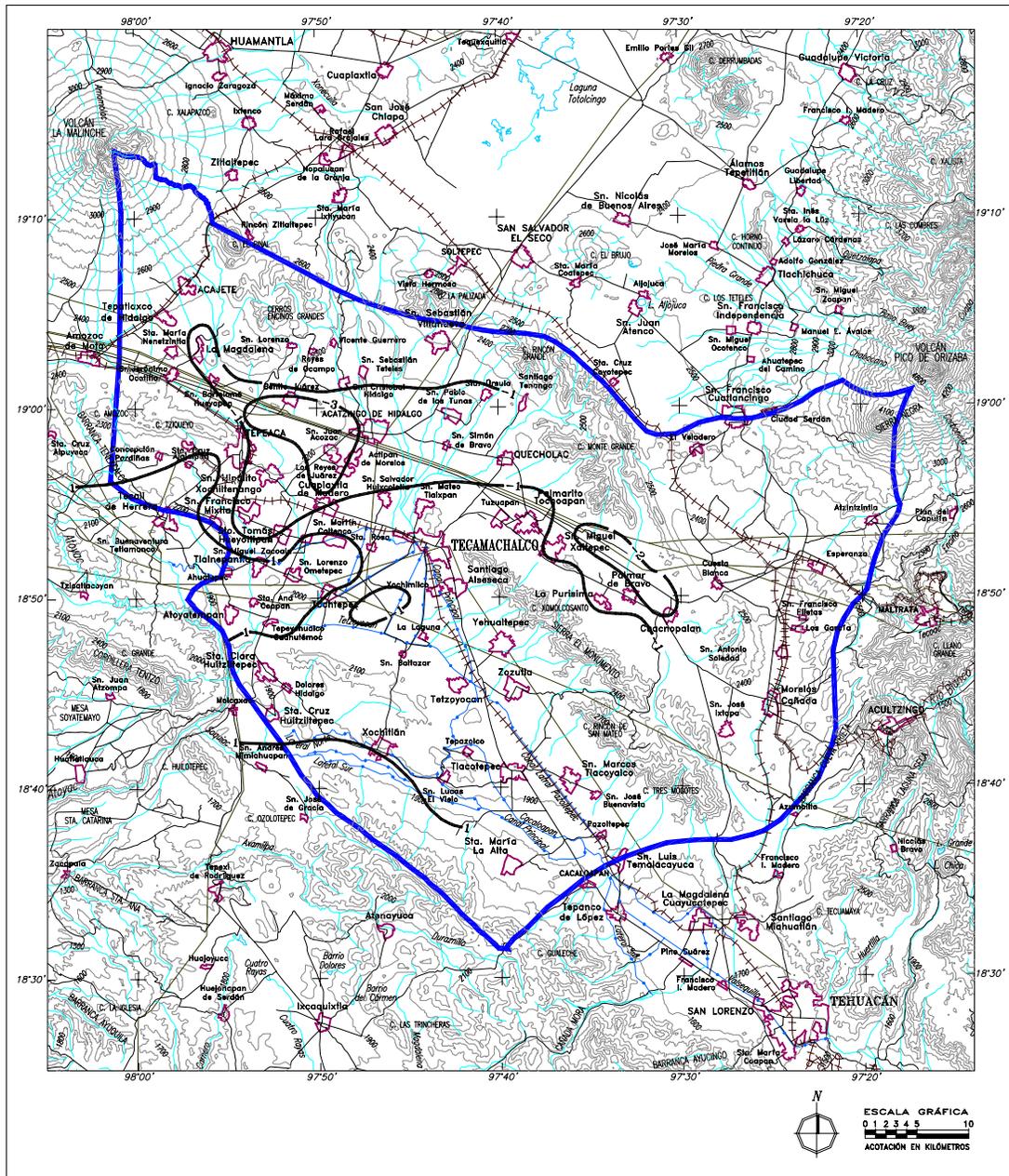


Figura No. 20 Curvas de igual elevación del nivel estático 1997-2000

En la Figura 21 se muestra las curvas de igual conductividad eléctrica para el año de 1996 en la zona de Acajete- Acatzingo-Tepeaca y Tecamachalco, los valores de las curvas presentaron valores de 300 a 1 250 micromhos a 25 °C, este último valor se localizó al sureste de la población de Tepeaca, dichos valores se han observado que guardan una proporción importante con los de los sólidos totales disueltos, lo cual da una idea de las concentraciones de los iones que se encuentran en las aguas subterráneas de esa zona.

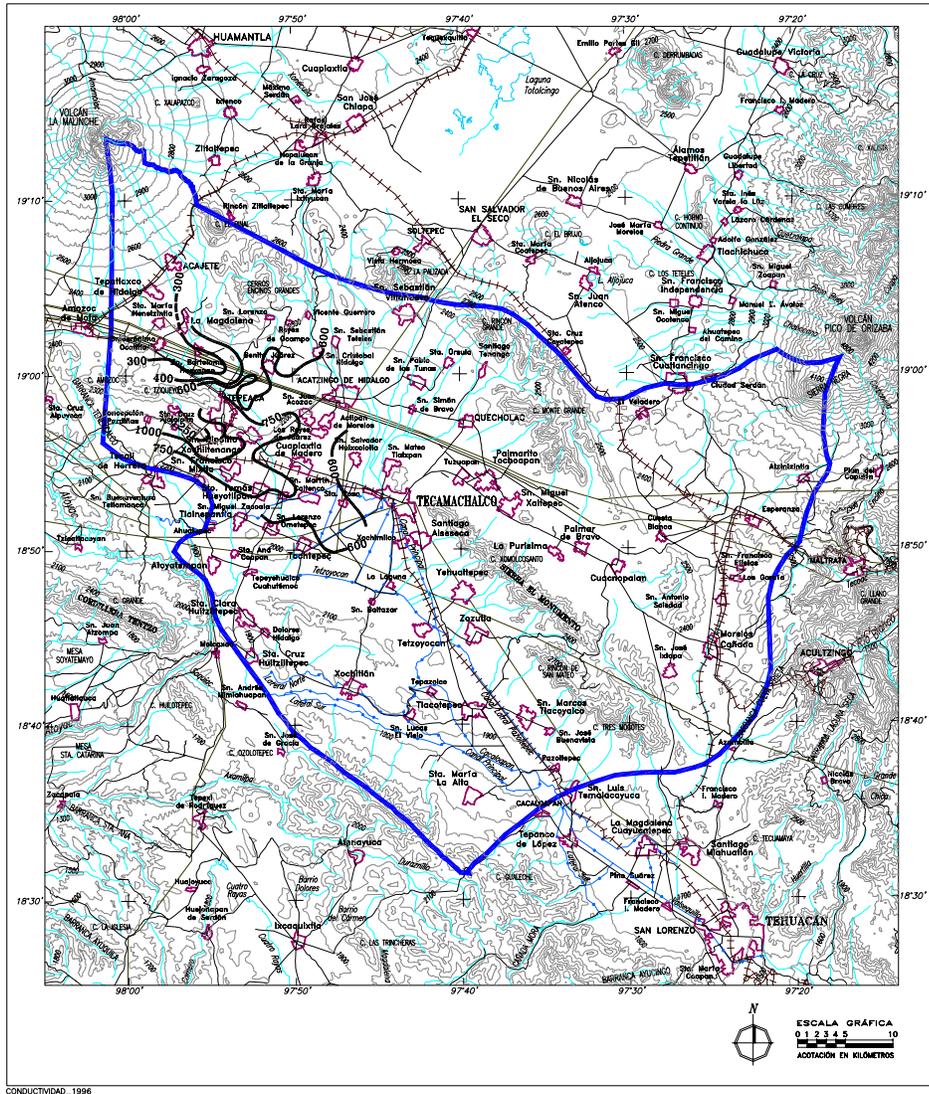


Figura No. 21 Curvas de igual conductividad eléctrica en micromhos a 25° C

En la Figura 21 se puede observar la configuración de curvas de igual contenido de sólidos totales en ppm, en esta figura se aprecia que en las zonas de Tepeaca y en las inmediaciones de la población de Tochtepec los valores de las curvas máximas son de 1000 ppm; de acuerdo a la información puntual del estudio de 1974 se tiene que en

la zona existen valores que sobrepasan este límite con valores de hasta 2 200 ppm con un promedio de 798 ppm, como ya se había mencionado.

De acuerdo con información reciente sobre la calidad del agua subterránea, proporcionada por la Subgerencia de Ingeniería de la Gerencia Estatal en Puebla, comparada con la obtenida en el año de 1974, se puede considerar que en términos generales que se observa un deterioro de la calidad, lo anterior se puede deducir al comparar la concentración de sólidos totales, que para el año de 1974 sobrepasaban el límite permisible por consumo humano (1000 ppm) en la zona de Tepeaca, así como en los alrededores del poblado de Tochtepec, y en el resto de la zona se encontraba por abajo de estos límites; en la zona de Palmar de Bravo y Quecholac las concentraciones de los sólidos totales eran del orden de 700 ppm; al respecto con la información actual y disponible de resultados de análisis físico-químicos, se observa que actualmente los sólidos totales presentan valores máximos de 1278 ppm en la zona de Tepeaca y de 695 en Quecholac. Es importante hacer mención que los sólidos totales dan una buena idea de las concentraciones de los iones que se encuentran en las aguas del acuífero de Tecamachalco.

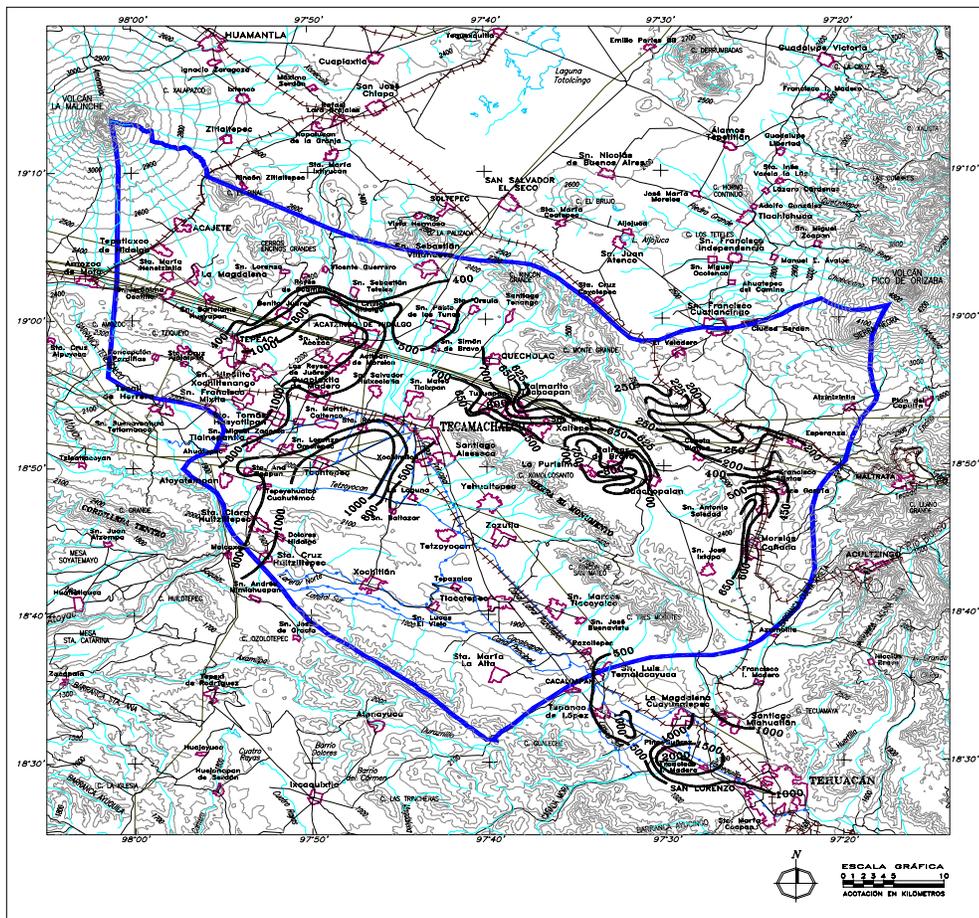


Figura No. 22 Curvas de igual contenido de sólidos totales en ppm

Asimismo, se ha observado que los valores de la alcalinidad total, que en 1974 oscilaban entre 68 y 936 ppm, actualmente se observan valores de hasta 945 ppm, lo que significa que continúan prácticamente con los mismos valores máximos; respecto a la dureza Total como CaCO₃, para el año 1974 los valores oscilaban entre 56 y 424 ppm y recientemente se han observado valores máximos de 847 ppm en la zona de Tepeaca y en general con tendencia a sobrepasar la norma establecida como se puede observar en los resultados de los análisis que corresponden al año 2002.

Aunque en términos generales la calidad del agua subterránea se puede considerar que ha prevalecido en el tiempo con algunos ligeros incrementos, que no se detectan claramente, es de esperarse que en la zona del Distrito de Riego, las concentraciones de los iones sean de mayor magnitud, debido a que se utilizan aguas residuales para el riego y parte de esta agua llega a recargar al acuífero. Al paso del tiempo, por los volúmenes usados en el riego y por saturación de las capas de terreno que la interceptan, no necesariamente quedarán depurados por filtración y afectarán finalmente a las aguas subterráneas.

Condiciones de explotación del agua subterránea

De acuerdo a un balance de aguas subterráneas, el acuífero recibe una alimentación natural de 103 hm³/año y por recarga inducida 142 hm³/año, haciendo un total de 245 hm³/año. La descarga por bombeo es del orden de 343 hm³/año y una salida por flujo horizontal subterráneo de aproximadamente 19 hm³/año, con lo cual se obtiene una salida total de 336 hm³/año que es mayor a las entradas, lo que origina un desequilibrio hidrológico que se traduce en una disminución de los niveles estáticos que en promedio son del orden de 1.0 m/año, según se muestra en la Tabla 7.

De acuerdo con lo anterior, la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos está más que rebasada. De hecho la reciente publicación de la CNA se menciona un déficit de 32 hm³/año en el Acuífero Valle de Tecamachalco.¹⁰ Valor del orden del 50 % del déficit total real.

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. Adicionalmente los costos de extracción van en continuo aumento, con los consiguientes costos adicionales de reposición de pozos y de equipos de bombeo.

Otros efectos pueden ser hundimiento del terreno en zonas con suelos compresibles y un decremento en la calidad del agua a medida que la profundidad del agua es mayor.

Tabla No. 5 Balance de aguas subterráneas en el acuífero Valle de Tecamachalco

¹⁰ CNA. Acuerdo. Diario Oficial 31 de enero de 2003.

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO TECAMACHALCO, PUE.			Todo
Área total del acuífero		km ²	3,260
RECARGA			
Área de valle		km ²	1,700
Coefficiente	I ₁		0.065
Precipitación		mm/año	562.5
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	62.2
Recarga natural zonas altas		hm ³ /año	39.1
Entradas horizontales	Eh	hm ³ /año	2.0
Total de recarga natural		hm³/año	103.2
Público Urbano	I ₂		0.200
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	12.0
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.2400
Retorno de riego, agua subterránea		hm ³ /año	67.7
Agrícola, agua superficial (Presa Manuel Ávila Camacho, 206.8 hm ³ /año)	I ₄		0.300
Retorno de riego		hm ³ /año	62.0
Retorno total			141.7
Recarga vertical total			203.9
RECARGA TOTAL	Rt	hm³/año	245.0
DESCARGA			
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	19.0
Extracción total bruta		hm³/año	343.4
Agrícola		hm ³ /año	278.0
Público urbano		hm ³ /año	59.8
Industrial		hm ³ /año	1.4
Otros		hm ³ /año	4.2
DESCARGA TOTAL		hm³/año	362.4
Minado	ΔA	hm³/año	-117.4
Coefficiente de almacenamiento	S		0.10
Volumen drenado (m/año)	Vd	hm ³ /año	1,190
Abatimiento m/año		m	0.70

Según los resultados del análisis del balance hídrico agronómico, el retorno de riego bajo las condiciones actuales de uso del agua es de 62.5 hm³/año, según se puede consultar en la Tabla 3.5 del capítulo III del tomo I, valor muy semejante al mostrado en la tabla anterior.

Agua superficial¹¹

Hidrografía

La zona de estudio pertenece a las regiones administrativas IV Balsas y X Golfo Centro, la primera domina casi un 90 % del área, y en ella está comprendida gran parte de los valles de Esperanza, Palmar de Bravo y Tepeaca-Tecamachalco, a la región administrativa X le corresponde la zona que abarca los municipios de Esperanza y Cañada Morelos, así como el sureste del área de estudio comprendida por los municipios de Tlacotepec de Benito Juárez y Yehualtepec. Desde el punto de vista de aguas superficiales queda dentro de las cuencas de Papaloapan y del Balsas. El valle de Esperanza, y la porción suroccidental del valle de Tepeaca-Tecamachalco, desde la segunda unidad del Distrito de Riego hasta Tehuacán corresponden al

¹¹ En este apartado del documento se revisó la información del Distrito de Riego, por lo que su contenido es información consultada en las mismas oficinas de la autoridad competente en el manejo de las aguas superficiales (Distrito de Riego 030 Valsequillo).

Región Hidrológica 28, Cuenca del río Papaloapan, Subcuenca del río Salado. La porción noroccidental del valle de Tepeaca-Tecamachalco, la Primera Unidad del Distrito de Riego de Valsequillo y el valle de Palmar de Bravo, están comprendidas dentro de la Región Hidrológica 18 Río Balsas.

La principal corriente superficial lo constituye el río Zauapan, que nace en el cerro de Tlaxco en los límites de los estados de Puebla y Tlaxcala, la dirección es sensiblemente de norte a sur, atravesando la ciudad de Puebla. Aguas debajo de la ciudad de Puebla cambia su nombre a río Atoyac, donde se localiza la presa Valsequillo que da origen a Distrito de Riego 030, punto en el que acumula un área drenada de 3,900 km². Todo ello fuera de la zona de estudio, aunque de la presa se forma el Distrito de Riego 030 y la superficie regada se localiza en los acuíferos de Tecamachalco y Tehuacan.

Actualmente los escurrimientos del río antes de la ciudad de Puebla son prácticamente nulos en época de estiaje, debido a las derivaciones que se tienen aguas arriba, por tal razón los escurrimientos aprovechados en el distrito de Riego provienen en su gran mayoría de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Puebla.

En las demás zonas del área cubierta por el acuífero, no se tienen escurrimientos de importancia, tal como se puede observar en cualquiera de las figuras anteriores o en el esquema de la Figura 23, salvo algunos arroyos que ocasionalmente conducen algún escurrimiento, sobre todo en época de avenidas y cuando las precipitaciones resultan extraordinarias.

Distrito de Riego No. 030

El Distrito de Riego No. 030 cuenta con un área dominada de 34,340 ha, de las cuales son regables del orden de 33,800 ha. Esta superficie queda distribuida en 17 municipios del estado de Puebla y se distribuye entre 13,368 usuarios. El acuerdo presidencial que establece a este Distrito data del 21 de febrero de 1939, y el que lo limita el 22 de noviembre de 1944, la operación del Distrito se inició el 13 de septiembre de 1946 y consta de tres unidades. Para el riego del Distrito se aprovechan los escurrimientos del río Atoyac, almacenados y controlados en la presa Manuel Ávila Camacho; de acuerdo a la información del estudio de 1996, en los últimos años se han regado bajo el sistema de gravedad del orden de 18 000 ha, utilizando 225 hm³, de lo que resulta una lámina bruta de 125.3 cm con eficiencia de conducción de 53.7%. A través del bombeo de agua subterránea con 273 aprovechamientos para los últimos años (antes de 1996) se han regado 6,836 ha, con un volumen de 70 hm³, de lo que resulta una lámina bruta de 107 cm, con eficiencia de conducción de 89%.

El Distrito cuenta con 105 km de canales principales, de los cuales 60 km estaban sin revestir hasta el año de 1996. La capacidad del canal principal es de 50 m³/s; los canales laterales suman una longitud de 528 km de los cuales hasta el año de 1996 se encontraban revestidos 226.2 km. Es importante hacer mención que hasta ese año el Distrito de Riego presentaba dos problemas principales, el primero consistía en la insuficiencia para regar la totalidad de la superficie disponible y el segundo en la mala calidad del agua almacenada en la presa, debido a que las corrientes que la abastecen reciben descargas contaminadas de las poblaciones e industrias, principalmente la ciudad de Puebla, y a la carencia de plantas de tratamiento, lo que restringe la siembra de cultivos que pudieran aportar mayores ganancias.

La corriente superficial más importantes en la región donde se ubica el área de estudio es el río Atoyac, aunque dentro de esta área hay otras de importancia como la de la Barranca El Águila que nace en la parte sur del volcán de La Malinche y se forma con los escurrimientos que de descenden en sus faldas, en San Miguel Sacaola cruza con el canal principal del Distrito de Riego, punto a partir del cual sirve de conducto a las aguas de drenaje de la Primera Unidad del Distrito, posteriormente pasa por Tepeyahualco y llega al borde del cañón del río Atoyac, donde descarga sus aguas mediante una caída de 60 m, llamada Acatzitzimitla.

El río Atoyac¹² se forma en el valle de Puebla a muy elevada altitud, siendo sus primeros formadores las corrientes que descenden de las estribaciones orientales de la sierra Nevada, y particularmente de las faldas de los cerros Tláloc, Telapón y Tecama. Entre las primeras corrientes formadoras pueden citarse las siguientes: Río Tlahuapan, río Otlali, río Ateompa, río Turín y río Atotonilco, El nombre de río Atoyac, lo toma la corriente desde la confluencia de los ríos Tlahuapan y Turín, en las cercanías de los poblados de San Francisco Tláloc y Necatepec, situados en el estado de Puebla, cerca de los límites con el estado de Tlaxcala. El río corre hacia el sureste, siendo San Martín Texmelucan la primera población importante junto a la cual pasa; recibe más adelante las aportaciones del río Ajejela, el cual descende de la sierra de Tlaxco, de aquí en adelante, en un tramo aproximado de 20 kilómetros, el río sirve de límite entre Puebla y Tlaxcala. Recibe por su margen izquierda y proveniente de Tlaxcala, las importantes aportaciones del río Zahuapan, más adelante de esta confluencia, el río cambia la dirección de su curso para dirigirse hacia el sur, pasa junto a la ciudad de Puebla y más adelante sus aguas son almacenadas en la Presa Manuel Ávila Camacho. Después el río continúa descendiendo hacia el suroeste por la depresión del Balsas hasta confluir con el río Mixteco para formar el río Poblano, el cual más adelante se conoce como río Mezcala y que finalmente desemboca al pacífico con el nombre de río Balsas.

La Figura 23 muestra el curso del río Atoyac, así como la Presa Manuel Ávila Camacho y las estaciones hidrométricas Echeverría, Portezuelos, Balcón del Diablo II, Minas,

¹² SRH, Subsecretaría de Planeación. Boletín hidrológico No. 48, Región hidrológica Núm. 18 Parcial, cuencas de los ríos Atoyac y Mixteco. 1971

Canal Principal Valsequillo en la estación km 1 y Canal Principal Valsequillo en la estación km 24.

La estación hidrométrica Echeverría está instalada sobre el río Atoyac a 800 m aguas arriba de la presa derivadora Echeverría, a 24 kilómetros aguas arriba del sitio en que está construida la presa Manuel Ávila Camacho, aproximadamente a unos 12 kilómetros al suroeste de la ciudad de Puebla, en el municipio de Puebla. En la margen izquierda de la presa derivadora, se deriva un canal denominado Portezuelo; después de la Presa Manuel Ávila Camacho se encuentran instaladas las demás estaciones mencionadas en el párrafo anterior.

Es importante hacer notar que al vaso de la Presa Manuel Ávila Camacho llega agua de otras corrientes pero cuyos caudales se consideran bajos como los del río Alseseca que según información histórica (1944-1949), el gasto máximo anual fue de 23.8 hm³ medidos en la estación San Francisco la cual se encuentra suspendida y sin datos desde 1950.

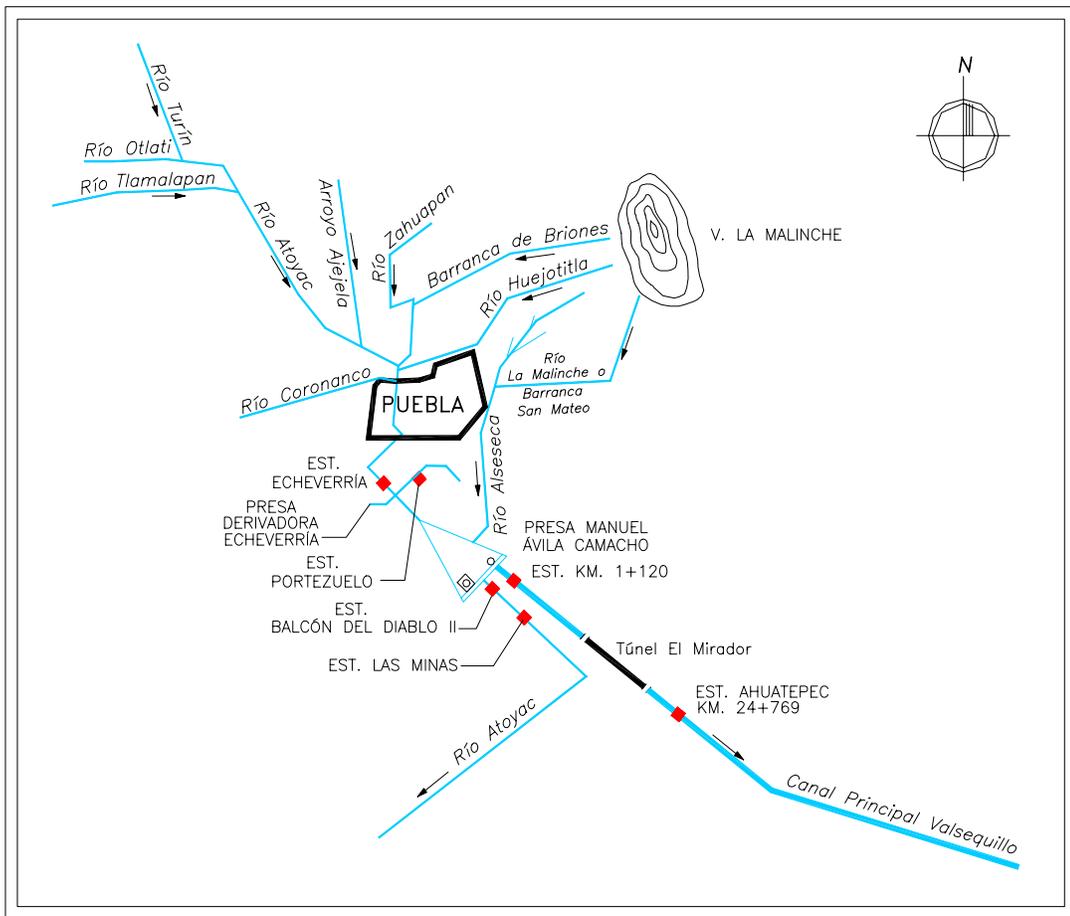


Figura No. 23 Localización de Presa Manuel Ávila Camacho y estaciones hidrométricas
Calidad del agua superficial

Como se mencionó anteriormente la principal fuente de abastecimiento lo representa la presa Valsequillo, receptor de las aguas residuales producidas por la ciudad de Puebla, por lo tanto su calidad deja mucho que desear. Aunque esta situación se revertirá en poco tiempo con la construcción y operación de las plantas de tratamiento. No se tienen análisis reportados pero las opiniones de los usuarios muestran una mala calidad.

Características básicas de disponibilidad y uso del agua superficial

De acuerdo con la operación del Distrito de Riego, el agua superficial no alcanza para cubrir los requerimientos de los cultivos implantados. Razón por la cual se requiere del auxilio del agua subterránea, por lo tanto no existe una disponibilidad adicional digna de tomar en cuenta.

Propuesta del Plan de Manejo – Propuesta de Solución

Descripción de la propuesta de manejo integrado para el aprovechamiento sostenible del agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Pue.

Derivado de este estudio se recomienda, la disminución de la demanda y el incremento de la oferta de los recursos hídricos, para disminuir el desbalance que existe actualmente en el acuífero y finalmente llegar al equilibrio.

Disminución de la demanda para uso público urbano

Por lo que respecta a los organismos operadores de los servicios de abasto a la población, se deberá mejorar la administración de los servicios de agua potable tratando de mejorar el servicio, con base en unas finanzas sanas; al mismo tiempo, se deberá reglamentar la prestación de los servicios, penalizando el desperdicio, lo anterior quiere decir que se deberán obtener un rápido incremento en tarifas a partir de dotaciones mínimas, donde se demuestre el buen uso por parte del usuario. Crear conciencia en los usuarios para que contribuyan al ahorro del agua y poner a su disposición muebles y enseres ahorradores de agua y la instalación de medidores domiciliarios. Realizar un programa de detección y reparación de fugas no visibles y la rehabilitación de redes de distribución, incrementando las tarifas del servicio de abasto, con base en el costo de los servicios y un pago justo, y usar del agua residual tratada. Esto último con el objetivo básico de sanear las cuencas y vender el agua a los mismos servicios de las poblaciones en riego de jardines, uso de agua tratada en talleres y servicios que no requieran agua blanca, para allegarse fondos para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

Respecto a los usuarios del servicio, deberán reducir la dotación mediante el uso de muebles y accesorios intradomiciliarios de bajo consumo, la revisión del funcionamiento de regaderas, retretes, lavadoras de ropa y utilizar el agua residual en otros

usos domésticos y comerciales. Instalación de muebles y accesorios de bajo consumo en industrias, comercios, oficinas, casas habitación y departamentos. Buscar un procedimiento, donde el usuario fuera capaz de instalar sus muebles y accesorios, con incentivos en el cobro de su consumo de agua potable.

La inversión en el sector público urbano alcanzaría la cifra de 421 millones de pesos en el horizonte económico planteado, lo que representa una erogación de 21 millones de pesos anuales, representando un costo de \$0.32/m³, adicionales a los costos actuales de aproximadamente \$1.00/m³. Desde luego este incremento deberá ser pagado a través de los que realizan los usuarios.

Disminución de la demanda para uso agrícola

Respecto al uso agrícola, actualmente se utiliza un volumen bruto de aguas subterráneas de 278 hm³/año, en la irrigación de poco más de 26,000 ha, en donde los cultivos principales son los granos y los forrajes, representando entre ambos el 68% de la superficie y el 76% del volumen bruto de agua utilizado y con sólo el 6% del ingreso neto de los agricultores. Por lo que respecta al uso del agua superficial en la primera y segunda unidades del Distrito de Riego, los cultivos principales los representan el maíz y la alfalfa, entre ambos cultivos se utiliza el 91% del agua y el 84% de la superficie física cultivada.

Ante esta situación, esta propuesta plantea una reducción drástica, aunque gradual, de la superficie física cultivada con aguas subterráneas, mediante la implantación de sistemas de riego eficientes y una reducción de los cultivos de granos y forrajes, que permita lograr llegar a una extracción neta del orden de unos 100 hm³/año, para el sector agrícola en su conjunto.

Al final de la aplicación del Plan de Evaluación para el aprovechamiento sostenible del agua en el acuífero Valle de Tecamachalco, Pue., y de reducciones de uso en el sector agrícola se propone, una superficie máxima de 2,500 ha de maíz y 500 ha de alfalfa, tal como se considero después de haber analizado la información y haber realizado algunas estimaciones.

	Situación actual	Situación proyecto
Superficie (ha)	26,694	19,864
Extracción bruta (hm ³ /año)	278	101
Extracción neta (hm ³ /año)	210	98
Goteo (ha)		16,864
Pivote central (ha)		3,000
Beneficio neto (millones de pesos /año)		990
Costo de bombeo tarifa actual (Millones de pesos /año)	67	22
Costo de bombeo tarifa real (millones de pesos /año)	131	44
Subsidio Millones de pesos /año)	64	21

Inversión (millones de pesos)		497
Beneficio \$/ha	8,230	50,962
Beneficio \$/m ³	0.79	10.0

Si se considera el precio real de la energía eléctrica (\$0.86/kwh), el costo para extraer los volúmenes requeridos en el sector agrícola pasaría de 153 a 51 millones de pesos anuales. Además, el subsidio a la energía eléctrica disminuiría de 77 a 25 millones de pesos.

La inversión total resulta de 500 millones de pesos en total, equivalentes a 25 millones de pesos anuales.

Respecto al uso industrial, no se propone alguna disminución mediante uso eficiente, ya que actualmente este sector está realizando esfuerzos acerca de tratamientos y reúsos, debido a que tienen un control en el pago de los derechos bastante altos y muy estrictos por parte de CNA, al mismo tiempo que en la calidad de las descargas.

Una acción adicional será la compra de derechos en casos en que los agricultores tengan un negocio no redituable o por la edad de los propietarios convenga abandonar totalmente la actividad, en tal caso podría realizarse a través del decreto recientemente publicado.¹³

Acciones para incrementar la oferta

Por lo que se refiere a las acciones sobre el incremento de la oferta del agua, las acciones son bastante limitadas en comparación con la disminución del minado causada con las acciones sobre la disminución de la demanda.

Protección y conservación de zonas de recarga actuales

Actualmente la recarga natural proveniente de zonas altas se estima en unos 40 hm³/año, lo que representa casi un 20% de la extracción neta del acuífero de Tecamachalco. Por lo tanto, una acción importante será la protección de las zonas de recarga básicamente provenientes de la Malinche.

Para lograr lo anterior, se propone en este proyecto la construcción de un vivero que proporcione las plantas requeridas para la forestación mencionada y la plantación de las mismas. Actualmente estos programas son financiados por CONAFOR. Una acción adicional será la implementación de programas específicos para incrementar la recarga natural actual, estas acciones deberán estar enfocadas a las zonas actualmente deforestadas, como son las sierras del Monumento y Soltepec.

¹³ SAGARPA. DOF 12/agosto/2003. Reglas de operación del programa de adquisición de derechos de uso de agua.

Estas acciones incrementarían la recarga en unos 20 hm³/año o sea un incremento en la recarga por lluvia del orden del 20% adicional a la actual. Lo anterior significa que las avenidas que no tienen aprovechamiento alguno se retengan en un 50%, ya que los informes de los lugareños consultados en registros ya levantados con anterioridad por las mismas autoridades competentes en el Distrito de Riego, estiman un volumen del orden de unos 50 hm³/año que no tienen aprovechamiento alguno.

Reusó del agua

Otra acción importante lo representa el reusó del agua residual, que como se ha mencionado el uso de las aguas residuales tratadas en la misma población se puede hacer en algunos usos comerciales y riego de áreas verdes principalmente.

C Disminuir la demanda e incrementar la oferta de agua	
C.1	Mejorar la administración de los servicios de agua potable con base en finazas sanas
C.2	Reglamentar la prestación de los servicios urbanos, penalizando el desperdicio
C.3	Instalación de medidores domiciliarios
C.4	Poner a disposición de los usuarios muebles y enseres ahorradores de agua
C.5	Realizar un programa de detección y reparación de fugas no visibles y la rehabilitación de redes de distribución
C.6	Incremento de tarifas del servicio de abasto a poblaciones
C.7	Uso del agua residual tratada
C.8	Poner a disposición de los usuarios de riego dispositivos adecuados de sistemas de riego
C.9	Implantar sistemas de riego eficientes
C.10	Promover la asistencia técnica a los agricultores
C.11	Promover el otorgamiento de créditos
C.12	Investigación de mercados de productos agrícolas
C.13	Protección y conservación de zonas de recarga
C.14	Recarga artificial
C.15	Intercambio y reuso del agua
C.16	Realizar un programa de desarrollo territorial
C.17	Realizar un programa de desarrollo urbano

A las acciones anteriores puede adicionarse la compra de derechos de uso del agua.

Conocer los usos y la disponibilidad del agua

Por demás importante resulta el conocimiento de la disponibilidad y los usos a que se destina el agua. Algunas características, en forma general, se han anotado en este proyecto, pero se requiere mayor precisión para su evaluación continua.

Los volúmenes de aguas subterráneas inscritos en el REPDA son del orden de la mitad de la extracción bruta estimada en estudios. Por otro lado, el inventario de aprovechamientos de agua subterránea alcanza la cifra de 1,342 aprovechamientos y el número de concesiones reportados en el REPDA es de 1,343, casi iguales y de los pozos agrícolas en operación, sólo un 50% cuentan el contrato regularizado ante la

Comisión Federal de Electricidad; es decir, solo el 50% tiene derecho al subsidio otorgado a este sector.¹⁴

Ante esta situación, realizar un inventario de los aprovechamientos de agua subterránea dentro de los límites del acuífero Valle de Tecamachalco es indispensable; inventario que deberá consistir en el levantamiento físico de todos los aprovechamientos, anotando sus características constructivas y de operación, con su número de concesión y número de contrato o medidor de la CFE, con el objeto de ver su estado legal. Es conveniente agregar en el inventario todos los pozos abandonados, para evitar el ponerlos en operación posteriormente o quitarles la posibilidad de una reposición.

Los volúmenes de extracción se propone que se estimen mediante aforos directos en las descargas y tiempo de operación, superficies cultivadas, habitantes servidos según el caso, de tal manera de estimar los volúmenes reales de extracción y su comparación con los autorizados.

Respecto a la medición de las extracciones, se ha anotado como una actividad muy importante para el control de las mismas. Al respecto existen varias opciones para su medición, normalmente se habla de la instalación de medidores integradores tipo propela. Dentro de las experiencias de la CNA, este tipo de medidores ha dado un servicio no muy adecuado en la mayoría de los casos, por lo tanto se requiere un dictamen especial para cada usuario y aprovechamiento en particular.

En el caso de los servicios de suministro a centros urbanos (uso público urbano), es necesario que los organismos operadores instalen medidores integradores que proporcionen caudales instantáneos y volumen acumulado. Al igual que en el caso anterior, la calidad del agua es un factor determinante, al igual que la seriedad de los fabricantes en su mantenimiento y durabilidad.

Para el uso agrícola, se proponen métodos indirectos como la superficie cultivada, determinada mediante la interpretación de imágenes de satélite para cada ciclo agrícola. Otro método será mediante la determinación de una constante que relacionen el volumen extraído y el consumo de energía eléctrica para obtener los volúmenes por medio de los consumos mensuales de energía eléctrica. Existirán casos especiales como los sistemas agrícolas presurizados, en los que necesariamente se deberán instalar medidores integradores, como en el caso del uso público urbano. Por lo tanto, dentro del levantamiento que se realice a los aprovechamientos es conveniente sacar algunas fotografías de la descarga, otra panorámica para ver su localización general, todo ello deberá cargarse en un sistema de información.¹⁵

¹⁴ La determinación de los conceptos de requerimientos y láminas de riego mencionados en este párrafo fueron retomados y consultados con el personal conocedor de estas tareas de riego.

¹⁵ Cabe mencionar a este respecto, que los métodos mencionados en este apartado fueron retomados de opiniones y conversaciones hechas con personal técnico del área de conservación y operación del Distrito de Riego, razón por la cual el tecnicismo empleado estuvo respaldado por conocimientos de

La determinación de los requerimientos de riego dependen del sistema utilizado, de cada cultivo en particular, del tipo de suelo, pendiente del terreno, entre otros factores, por lo que la realización de los estudios edafológicos de detalle son indispensables obtener estas estimaciones. Actualmente se han calculado láminas medias para los principales cultivos establecidos en la zona, resultando una lámina bruta promedio de 1.12 m/año, al considerar un volumen bruto extraído del acuífero utilizado de 278 hm³/año y aplicado a una superficie de 26,695 ha. La lámina neta calculada, al considerar el retorno de riego que regresa al acuífero, resultó de 0.80 m, lo que significa una extracción neta actual de 211 hm³/año.

Por otro lado, la implantación de sistemas de riego más avanzados en donde la productividad se incrementa considerablemente, las predicciones para el mismo plan de cultivos actual, pero bajo la utilización de goteo en prácticamente todas las hortalizas y pivote central en alfalfa y maíz, la extracción bruta para uso agrícola bajaría de 278 hm³/año a 101 hm³/año y la neta por este uso bajaría de 211 hm³/año a 98 hm³/año. Como se observa el bombeo para el uso agrícola disminuye significativamente a un 36% del actual y la extracción neta en un 47% de la actual. Por lo tanto en el estudio de sistemas de riego presurizados es importante el cálculo de la extracción neta y garantizar esta disminución.

Los estudios técnicos¹⁶ realizados hasta la fecha indican un fuerte abatimiento de los niveles causado por un minado del recurso hídrico subterráneo, estimado en unos 117 hm³/año. Por lo tanto, la disponibilidad de aguas subterráneas está más que rebasada. En el caso de aguas superficiales se ha estimado un volumen bruto producido en la presa Valsequillo del orden de 248 hm³/año, de los cuales 207 hm³/año se usan en las unidades de riego 1 y 2 que corresponden al acuífero de Tecamachalco.

El cálculo y los resultados deberán realizarse anualmente para difundirlos por lo menos cada año.

Para la implantación de un sistema de medición confiable, se deberán Integrar manuales para la instalación de medidores en las descargas de los pozos según su uso, formar un sistema de información geográfica con el padrón de usuarios agrícolas, superficies cultivadas, sistema que debe ser enlazado con la base de datos de CFE para la obtención de volúmenes de extracción con base en consumos mensuales de energía eléctrica. Aparte de la instalación de medidores y la relación entre consumos de energía eléctrica, se considera básico revisar continuamente la superficie o frontera agrícola.

personas expertas en la materia.

¹⁶ Estos estudios técnicos fueron obtenidos y consultados de los registros presentes en diversos estudios técnicos realizados por personal del Distrito de Riego.

Actualmente se estima un valor del agua del orden de \$8.00/m³, valor que será variable con el tiempo, dependiendo de la productividad del agua, costos de bombeo, daños ambientales, entre otros conceptos que además varían con el tiempo. Por lo tanto, la evaluación continua será necesaria, y su difusión se deberá de realizar anualmente, por lo menos.

A Conocer los usos y la disponibilidad del agua	
A.1	Realizar un inventario de aprovechamientos de agua subterránea
A.2	Aplicar métodos para la medición y control de volúmenes de extracción
A.3	Determinar los requerimientos de riego
A.4	Determinar las dotaciones en el uso público urbano
A.5	Determinar la disponibilidad del agua
A.6	Instalación de dispositivos y métodos para la medición de volúmenes de extracción en pozos y sistemas de distribución
A.7	Determinar el conocimiento del valor real del agua

Las actividades anteriores, englobadas dentro del cuadro anterior, resultan básicas como parte de los indicadores de seguimiento y evaluación del Plan. Se ha llegado a llamar también este bloque como actividades preliminares para implantar el Plan de manejo,

Fomentar la cultura del ahorro del agua

Se recomienda como parte medular de este proyecto implementar algunas actividades promovidas por dependencias como la Comisión Nacional del Agua, organismos operadores de los sistemas de abasto a poblaciones, las universidades y las autoridades municipales, entre otras. Por lo tanto, será indispensable contar con información de estos programas, antes de iniciar cualquier actividad en este sentido, estos programas deberán ser complementados con las ideas que se presentan posteriormente.

Sin olvidar que esta acción consiste básicamente en lograr el ahorro del agua, en el sector público urbano se deben dar a conocer las ventajas del ahorro del agua, sobre una disminución en los pagos de los servicios, resaltando el ahorro en aspectos económicos.

En el sector agrícola, se debe resaltar el ahorro del agua en función de la disminución del pago de energía eléctrica, al ocupar menor volumen. Actualmente se estima un pago a la Comisión Federal de Electricidad del orden de 70 millones pesos a tarifa actual valor que pasaría y a unos 25 millones de pesos anuales en los supuestos del proyecto, lo que significa una disminución en el pago de energía en el sector agrícola de casi el 50%.

A partir de los estudios que se realicen en las actividades enmarcadas dentro de las recomendaciones o de las estimaciones realizadas en este estudio se puede iniciar la

difusión de la problemática de la disponibilidad y el uso que se da al agua. Como ya se mencionó, existe actualmente un déficit en el acuífero de unos 117 hm³/año, lo que significa un poco más de 3,700 l/s, volumen que proviene del almacenamiento subterráneo, almacenamiento heredado de nuestros antepasados y que se está agotando. Lo anterior se refiere a condiciones severas, y de seguir esta tendencia, ante demandas crecientes de la población, la disponibilidad se verá disminuida cada vez más.

Ante el minado que se realiza actualmente del acuífero, los almacenamientos subterráneos irán disminuyendo cada día, con lo consabida inseguridad en la continuidad de los abastecimientos, actualmente el almacenamiento subterráneo disminuye en 117 hm³/año, aspecto que será bueno dar a conocer.

El costo del agua será un aspecto importante en los servicios públicos urbanos, al respecto los costos actuales de bombeo son del orden de \$1.00/m³, si a este costo se le suman las pérdidas en conducción y distribución, estimadas en un 40%, el costo puesto en cada domicilio resulta de casi el doble de ese valor; por lo tanto la tarifa mínima deberá ser del orden de \$2.00/m³. De seguir con los ritmos de abatimiento actual este costo será cada día mayor. Por otro lado, los costos económico ambientales se han estimado en unos 35 millones de pesos, valor adicional que debería reembolsarse a toda la sociedad, por todos los usuarios del agua.

Con base en estudios sobre la demanda en este sector, se pueden comparar valores de dotación entre sectores socioeconómicos de la población y desglosando por tipo de uso dentro de las viviendas. Actualmente existe un desconocimiento acerca de aparatos y dispositivos ahorradores, ante esta problemática los organismos operadores de los servicios de abasto jugarán un papel muy importante, al investigar y recomendar el uso de tales dispositivos ahorradores, mediante la selección de fabricantes de equipos domésticos que realmente garanticen el ahorro.

El aspecto anterior deberá ser complementado con costos de los dispositivos ahorradores y los beneficios que se obtengan en el pago del servicio.

En el sector agrícola la promoción del ahorro deberá ser relacionada con aspectos de costos y beneficios económicos. En la propuesta de este proyecto se demuestra la conveniencia del uso de sistemas de riego eficientes, con el consecuente incremento en los rendimientos de los cultivos. En análisis previamente hechos por autoridades y retomados para este estudio se demuestra a través de las relaciones beneficio costo, factores que van desde uno hasta más de tres veces. Indudablemente en este sector se requiere de asistencia técnica adecuada y al igual que en el sector público urbano es indispensable contar con catálogos de sistemas, garantía de servicio de las casas vendedoras y en general de la conveniencia de su aplicación.

Se ha visto a través de recorridos de campo la falta de conocimiento en la operación de los sistemas más eficientes, debido a que los vendedores solo llegan a la instalación pero no a la operación de estos sistemas, problemática que puede resolverse mediante una asistencia técnica adecuada. Esta asistencia técnica podrá resolverse mediante la intervención de las instituciones oficiales o mediante la contratación expresa de firmas consultoras.

En virtud de que durante años se tenía la percepción equivocada de una disponibilidad de agua casi infinita en todos los usos, la población no ha valorado en toda su extensión la importancia de conservación del recurso hídrico, tanto en calidad como en cantidad, aun cuando desde los años 60 's ya era común hablar de sobreexplotación; y que además durante la década de los 50' era conocido que algunos acuíferos se encontraban en veda debido al fenómeno antes expuesto, aun así la conciencia sobre el buen uso y aprovechamiento del agua continuó siendo muy relativa, ya que no se hicieron acciones definitivas para frenar y evitar que se continuaran sobreexplotando los acuíferos con sus consecuencias ambientales y económicas.

Los esfuerzos que aisladamente se realizaron durante varias décadas, para evitar el incremento de la sobreexplotación de acuíferos y la deficiente distribución de agua superficial, no fueron suficientes para aminorar la problemática de la disminución del recurso, unas veces en cantidad otras en calidad, esto último debido a las contaminaciones de los cuerpos de agua. Desde luego hay que reconocer que en el pasado hubieron una gran cantidad de obras hidráulicas que apoyaron al desarrollo del país, y que las políticas sobre el manejo, uso y aprovechamiento de los recursos hídricos han mejorado a través del tiempo; en este sentido, actualmente se observa que se están realizando trabajos para reestablecer y/o mantener estabilizados acuíferos con problemas como los anteriormente mencionados, estos conceptos se han iniciado en algunos acuíferos seleccionados entre los más importantes, debido a que son el sustento de grandes poblaciones; asimismo, estos programas contemplan una mejor interacción con los recursos hídricos superficiales para lograr un desarrollo sustentable de las diversas regiones del país.

De acuerdo a lo anterior es necesario que la población, en términos generales, cambie de hábitos en cuanto al uso y aprovechamiento del recurso hídrico, de tal manera que tome conciencia que el agua es un recurso escaso, por lo que debe utilizarse para cubrir sus necesidades y no realizar un desperdicio o mal uso de él. Es necesario por ejemplo, tomar conciencia que lavar calles, banquetas y paredes no tiene razón de ser (salvo casos muy específicos como lavado obras de arte de algunas fachadas, o lavado de algunas pistas que presentan elementos que pueden provocar un accidente), que bañarse es muy saludable pero estar fuera de la regadera mientras ésta arroja agua no beneficia al cuerpo, tirar el agua que se almacenó y sobró en recipientes porque ya se restableció el suministro de agua, es inapropiado y acto de despilfarro, asimismo, lavar objetos que tienen etiquetas pegadas hasta que queden

exentas de ellas, porque está “muy bonita la botellita” y que después de paso se tiran de inmediato porque no resulto ser útil, es abusar del recurso hídrico; ejemplos como estos hay muchos; otros más importantes son en hoteles, escuelas centros deportivos, etcétera, en los cuales no se usan adecuadamente los mecanismos de control de apertura y cierres de llaves o se encuentran en un total descuido sin que exista un mantenimiento, porque alguien dice que “así tiene ya mucho tiempo y no pasa nada”; en otros casos no reportar fugas que se observan en la vía pública porque “no vivo por aquí”, es desconocer entre otras cosas que el agua es un bien común.

Asimismo, esperar a recibir más de un reporte para acudir a solucionar la fuga, es promover el desperdicio, en otros casos dejar que el agua que sale de mangueras que se utilizan para regar jardines públicos y privados se prolonguen por tiempos largos considerando que “al fin que se infiltra y no se nota” es ignorar como se debe regar y que todo tiene un costo, además que existen necesidades de agua por cubrir, sea para la población, agricultura, pecuario u otro uso. Por lo anterior es muy importante cambiar de raíz esos hábitos y actitudes, de manera que cada una de ellas se revierta en acciones positivas.

Cuando en un determinado momento se carece del suministro de agua proporcionada por el ayuntamiento, o porque aun no llega la temporada de lluvias o los vasos de almacenamiento de agua han descendido y la disponibilidad ha disminuido, y particularmente cuando por fenómenos naturales ocurren desastres en los cuales una gran parte de la población se queda por tiempos considerables sin el suministro de agua, así como también, porque los costos de bombeo de pozos para diversos usos se incrementan, es cuando en forma importante la población afectada da importancia al uso adecuado del agua, en este sentido es necesario crear una conciencia permanente en la población del uso racional del agua, para evitar en lo posible el abuso del aprovechamiento hídrico y con ello prevenir su carencia o aminorar los problemas que se susciten.

Una forma de crear conciencia es divulgar los problemas que se han presentado por el uso excesivo del agua y que finalmente son los efectos de la sobreexplotación, incluyendo problemas como el de la Ciudad de México, Querétaro, Celaya, entre otros; asimismo indicar en términos muy generales como en el ámbito mundial y nacional existen problemas de salud por contaminación del recurso, incluyendo enfermedades que tienen su origen en la contaminación del agua, es decir, crear conciencia en cuanto a cantidad y calidad del agua.

Entre los problemas a divulgar para crear conciencia sobre el uso racional es dar a conocer como poblaciones que contaban con el recurso hídrico en abundancia o con una calidad de agua que cumplía las normas establecidas por la SSA o para diversos usos, actualmente se encuentran en una situación crítica de abastecimiento en cuanto a cantidad o calidad.

La conciencia sobre el uso racional del agua debe ser implantada en toda la población y en forma más acentuada en la edad escolar.

En virtud de que los recursos naturales no son únicamente para la población actual, sino que ésta tiene la obligación de cuidarlos y preservarlos en cantidad y calidad, para que las futuras generaciones cuenten con ellos y puedan utilizarlos para su supervivencia y desarrollo, es necesario que las instituciones educativas implanten cursos y dispongan de libros de texto enfocados directamente sobre la cultura del uso y aprovechamiento de los recursos naturales con énfasis en el agua; es decir, eliminar lo que se puede considerar un “analfabetismo sobre la cultura del agua”, ya que si se tiene conocimiento sobre este recurso, además de preservarlo, coadyuvara a elevar el conocimiento intelectual sobre otros aspectos como de salud, preservación de la vida animal, entre otros aspectos.

El libro de texto tendría que ser elaborado y promovido en conjunto con las autoridades de la Secretaría de Educación Pública, Comisión Nacional del Agua y dependencias y organismos involucrados en el medio ambiente; desde luego esta labor es muy intensa pero se requiere implantarla lo más pronto posible en las instituciones educativas.

Por la importancia que tienen los recursos naturales y particularmente el agua, con la cual se preserva la vida en este planeta, se considera que sería ideal impartir cursos específicos sobre este tema y considerarla como una materia obligatoria y adicional a la de ciencias naturales, para cubrir ampliamente los aspectos señalados en este inciso y los anteriores que versan sobre él, a fin de tener en el futuro personas educadas en el uso adecuado de nuestros recursos naturales y específicamente en los hídricos.

Como se puede ver el fomento del ahorro del agua está íntimamente relacionado con la disminución de la demanda, por lo que la cultura puede verse como parte integrante del proyecto.

B Fomentar la cultura del ahorro del agua	
B.1	Difusión de la problemática actual y futura del uso del agua y de su disponibilidad
B.2	Difundir el costo del agua
B.3	Promover el ahorro del agua en sector público urbano
B.4	Promover el ahorro del agua en el sector agrícola
B.5	Promover cambios de hábitos para disminuir el desperdicio del agua
B.6	Crear conciencia del uso racional del agua
B.7	Desarrollar y promover la edición de un libro de texto sobre la cultura del agua, el medio ambiente y su preservación
B.8	Gestionar ante instancias educativas la implementación obligatoria de asignaturas de cultura del agua

Aplicar el marco legal

Parte fundamental del Proyecto son los aspectos legales sobre el uso del agua y su preservación. Para ello es indispensable la difusión de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, complementado con disposiciones estatales y de otras dependencias, en particular la Ley del Equilibrio Ecológico. Asimismo, la difusión de los planes y programas federales y estatales de desarrollo.

En principio este documento plantea el proyecto de sustentabilidad del acuífero, con sus diversas disciplinas sobre el uso y aprovechamiento del agua en la zona de Tecamachalco.

Como se mencionó, con base en el presente documento, se pueden iniciar las pláticas de consenso con todos los usuarios para iniciar la formulación de un reglamento de acuífero. Importante será divulgar las acciones y resultados de este estudio, para iniciar con la mayoría de los usuarios y las instituciones involucradas la propuesta y elaboración del reglamento del acuífero valle de Tecamachalco.

Actualmente se cuenta con los datos de cada usuario inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua, formando parte de un anexo.

Una vez consensado y aprobado por la mayoría de los usuarios el reglamento, solo hará falta su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Aunque es conveniente iniciar su aplicación mediante convencimiento directo, de alguna forma se probará su aplicación, sin necesidad de acciones represivas.

Parte importante del cumplimiento de las acciones descritas en este documento será posible mediante el apoyo de las Instituciones Federales, Estatales y Municipales, así como de instituciones que específicamente tendrán una intervención directa en la realización del plan, dentro de las cuales se pueden mencionar a las directamente involucradas en los aspectos agropecuarios y de financiamiento.

D Aplicar el marco legal
D.1 Difundir la L.A.N. y su Reglamento
D.2 Elaborar el proyecto técnico de sustentabilidad del acuífero
D.3 Elaboración, consenso y aprobación del reglamento del acuífero
D.4 Conocimiento del universo de usuarios del acuífero
D.5 Publicación del reglamento en el Diario Oficial de la Federación
D.6 Establecer una permanente y estricta coordinación entre las diferentes instituciones involucradas
D.7 Aplicación del reglamento del acuífero

Por lo tanto la coordinación e intervención en este plan es indispensable su intervención y coordinación, aspecto en donde jugará un papel importante el COTAS del acuífero valle de Tecamachalco. Aspecto por demás importante, será la aplicación del reglamento del acuífero, tanto el COTAS como las instituciones de apoyo.

El Proyecto deberá tener un control dentro de su seguimiento, para ello la aplicación de la Ley es fundamental.

Finalmente los indicadores de seguimiento están implícitos en las actividades anteriores, el control de las extracciones, los niveles en el acuífero, la garantía de los esfuerzos que se realicen en la disminución de la demanda mediante cambio de sistemas de riego, la mejora en la disponibilidad del agua subterránea.

Aspectos adicionales tendrán que evaluarse en lo que concierne a la injerencia del COTAS en la implantación del Proyecto, su participación, su liderazgo y la revisión de todos los programas de apoyo y que tengan que ver con los objetivos planteados. Por lo tanto, es conveniente un programa exclusivo del COTAS para la realización de todas sus actividades.

La cultura del ahorro del agua y la aplicación del marco legal, tendrá que tener efectos satisfactorios en la disminución del uso, por lo que estos dos objetivos están muy ligados a la disminución de la demanda.

Metodología utilizada para la realización del proyecto

El análisis del estado que guarda el acuífero del Valle de Tecamachalco es una actividad de evaluación necesaria, ya que se cuenta con la información, censos y registros de los niveles de disponibilidad de agua subterránea necesarios para hacer distintos estudios que permitan dar una interpretación de la información existente.

Información general de la localización y delimitación geográfica del Acuífero del Valle de Tecamachalco

} Ubicación referenciada del polígono del Acuífero → Ubicados los Municipios comprendidos en los límites administrativos del Acuífero, se agregan a este, las capa correspondiente a la poligonal del Acuífero Valle de Tecamachalco, para visualizar tanto la capa del polígono del Acuífero como los municipios comprendidos dentro de este.

} A partir de información y shapes obtenidos que reportan el clima (precipitación media anual en mm/año) y la geología superficial de la zona donde se ubica el acuífero, resaltar el polígono de los recursos hídricos subterráneos, para representar la capa del acuífero y analizar e interpretar visualmente la información vertida sobre las capas de los shapes ya creados.

} Ubicación de puntos que señalen los aprovechamientos de agua en el Acuífero del Valle de Tecamachalco, Pue., mediante la realización del mapa temático que registre los aprovechamientos activos.

} Análisis de la información y registros de los niveles estáticos del acuífero, para realizar y representar las capas de dichos niveles y visualizarlos con la capa del

polígono del acuífero, dando cuenta de la ubicación espacial del Acuífero partiendo de los datos geográficos que caracterizan el objeto de estudio.

Conclusiones

El Acuífero del Valle de Tecamachalco es un recurso hídrico subterráneo muy importante para el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales y humanas de la región. Conjuntamente con el Distrito de Riego 030 Valsequillo, su existencia se debe a la presencia del recurso agua. Sin embargo, recientemente este valioso recurso subterráneo y superficial se ha visto seriamente perjudicado debido al crecimiento poblacional y la presión demográfica que se da sobre la base de los recursos hídricos de la región, que sin duda están soportados por la principal fuente de agua que tiene la región.

Esta fuente de agua es el Acuífero del Valle de Tecamachalco que presenta un déficit importante en la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos, situación que pone en peligro el abastecimiento seguro a los habitantes de la zona, por el agotamiento de su principal fuente de abasto.

La zona alberga a una población de unos 615,000 habitantes, considerando la totalidad de la población de los 27 municipios inmersos en los límites administrativos del acuífero, con una tasa de crecimiento superior al 2% anual, lo que significa que la población en el año 2030 será de unos 900,000 habitantes. Este dato es de suma importancia, y bien puede ejemplificar y englobar una problemática que se desglosa en otra serie de problemas que han sido mencionados con anterioridad en este documento.

Ante ello, la propuesta de este proyecto se enfoca en un mejor manejo de los recursos hídricos subterráneos y superficiales, partiendo de propuestas que de igual modo ya han sido abordadas en el contenido de este documento.

Trabajo Futuro

Con este proyecto de investigación académica se busca plantear y dar continuidad al estudio de esta zona y del Acuífero como uno de las zonas de agua subterránea más sobreexplotadas del país.

Bibliografía

Como bibliografía se recurrió a fuentes de información de INEGI. Datos de 1999 a 2002. www.inegi.gob.mx

En cuanto a la información que en el documento se refiere al Acuífero y al Distrito de Riego 030 Valsequillo se recurrió al Área de la Gerencia de Aguas Subterráneas, así como la revisión directa en fuentes de información digital y documental en las instalaciones del Distrito de Riego 030 Valsequillo.

Apéndices

Explicación de archivos de proyecto

En los archivos que se adicionan, como parte del aparatado de entregables, se podrán encontrar en primera instancia una carpeta donde se ubican los shapex realizados con el programa ArcGis. Estos shapex ilustran las estructuras hidroagrícolas que complementan el documento final donde se incluyeron los mapas temáticos referentes al Acuífero, ya que la finalidad del proyecto consistió en evaluar el comportamiento de los niveles estáticos del agua subterránea, que sin duda es trabajado en el contenido de este estudio con la inclusión del Distrito de Riego; por ser esta la institución competente en lo que concierne al manejo y administración de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en su conjunto. En esta carpeta se podrán revisar los shapex de áreas agrícolas; los shapex de infraestructura como los canales, drenes, carreteras, puntos de extracción, población, etc. Esto se hizo así porque se busco poner en práctica y reportar este ejercicio con el trabajo de las capas (shapex) realizadas a la par de que se obtuvieron los shapex referentes al acuífero y que resultaron en la realización de los mapas temáticos expuestos y plasmados en el documento final. Cabe aclarar que estos shapex por formar parte de un trabajo que continúa siendo evaluado por las autoridades del Distrito, se pudo complementar adicionando al trabajo previamente realizado, la capa del polígono de los límites del Acuífero. Esa tarea estuvo a cargo del suscriptor de este documento final (Proyecto) que Evalúa el Acuífero del Valle de Tecamachalco, Pue., a partir del análisis de Mapas Temáticos que ilustren su comportamiento.

Además cabe aclarar que los shapex de los mapas temáticos incluidos en este documento final están en poder de las autoridades competentes, quienes accedieron a proporcionarlos al realizador de este proyecto con la condicionante de trabajarlos dentro de las instalaciones, ya que dichos shapex forman parte de un estudio que aun no está ejecutado, pero que se pudo complementar adicionando los polígonos del área correspondiente al acuífero, y que esta tarea si fue realizada por parte del suscriptor de este estudio.

Se solicita la comprensión de los revisores de este trabajo, ya que dichos shapex forman parte de un trabajo previo realizado por las autoridades y que el suscriptor de este documento retomo para adicionar con el manejo de herramientas aprendidas en el Diplomado en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, el polígono correspondiente al acuífero. Por tales razones, las autoridades accedieron solicitando que por ser un trabajo aun no ejecutado, no se podían proporcionar los shapex al realizador de este proyecto.

Por razones de conveniencia profesional, el titular de este documento pretende dar continuidad al trabajo que previamente se reviso y que se complemento con lo hecho en este estudio.

Como parte del contenido y los fines que se persiguieron al cursar dicho Diplomado, en este estudio se incluyeron shapex relacionados con el Distrito de Riego 030 Valsequillo. Estos fueron realizados por el autor de este documento con la finalidad de poner en práctica total lo aprendido en el curso antes mencionado, y para reportar

al revisor una tarea más apegada a la aplicación de lo aprendido en los talleres cursados. Además de que se busca dejar estos shapes como elementos que puedan ser de utilidad académica y práctica para las siguientes generaciones del Diplomado en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica.

Se incluyen otros apéndices donde se puede encontrar información detallada en cuanto a las bases de datos, tablas en Excel y registros utilizados para la elaboración del documento final. Concretamente es información que se refiere al aspecto agrícola (censos, cantidades, hectáreas, etc.); por otro lado se incluye el aspecto de la información donde se registra los resultados de análisis físico-químicos del agua; aspectos e información en Excel relacionada con el clima, censos diversos; y los apéndices correspondientes al Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) y finalmente donde se puede ubicar (georeferenciación) la zona de Tecamachalco y el apéndice de la carpeta de shapes donde se incluyen los polígonos trabajados por el autor de este proyecto y que se refieren a la estructura hidroagrícola del Distrito de Riego 030 Valsequillo, como son los puntos de extracción, áreas agrícolas, carreteras, población, entre otros.

Finalmente se observará otra carpeta donde se incluyen el conjunto de bases de datos en Excel que se utilizaron como parte del análisis realizado.